

جمهورية مصر العربية
وزارة التربية والتعليم والتعليم الفنى
الإدارة المركزية لشئون الكتب

# الفيــــزيـــاء

## للصف الثانى الثانوى

**لجنة إعداد الكتاب المطور**

أ. د مصطفى كمال محمد يوسف
أ. د محمد سامح سعيد
د مصطفى محمد السيد محمد
د مصطفى كمال محمد يوسف
أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد

**لجنة التعديل**

أ. د محمد أحمد كامل
أ/صدقة الدردير محمد
علاء الدين محمد أحمد عامر
جميلة عبد السميع محمود

**مستشار مادة العلوم**

أ. يسرى فؤاد سويرس

**الاشراف التربوى**

مركز تطوير المناهج والمواد التعليمية

٢٠١٩ - ٢٠٢٠

# المقدمة

الفيزياء هى ركيزة العلوم الأساسية : فكلمة فيزياء تعنى فهم طبيعة هذا الكون من حولنا وما يجرى فيه كبيرًا وصغيرًا. وهى أصل العلوم ويتشابك معها علم الكيمياء الذى يختص بفهم التفاعلات بين المواد، وعلم البيولوجى ويختص بما يحدث فى الكائنات الحية. وعلم الجيولوجيا ويعنى بفهم طبقات الأرض . وعلم الفلك ويعنى بالأجرام السماوية. ولكن فى النهاية تبقى الفيزياء أم العلوم وهى أساس التقدم العلمى والتكنولوجى الهائل. وفهم الفيزياء يعنى فهم القوانين الحاكمة لهذا الكون وهو ما أدى إلى النهضة الصناعية الحضارية التى يقودها الغرب الأن. ولم يكن العرب والمسلمون عامة قادة الحضارة فى العالم إلا بادراكهم لقيمة فهم قوانين هذا الكون. وكان لهم فضل اكتشاف معظم قوانين الفيزياء قبل الغرب بقرون. وما أسس الطب والفيزياء والكيمياء والفلك والرياضيات والموسيقى إلا من وضع علماء العرب والمسلمين.

إن فهم الفيزياء وتطبيقاتها يحول المجتمع من مجتمع ضعيف وفقير ومتخلف إلى مجتمع قوى وغنى ومتقدم. وهذا ماحدث بالفعل فى أوروبا وأمريكا واليابان الكمبيوتر والأقمار الصناعية والتليفون المحمول والتليفزيون كل هذه من ثمار علم الفيزياء. ثم انهم يبحثون الآن فى تركيب الجينات وتصنيع كمبيوتر بالشفرة الجينية. وقريبا يتم تصنيع كمبيوتر باستخدام الذرة والليزر.

إنه عالم رحب لا حدود للخيال فيه . والذى يجهله إنما يحكم علي نفسه بالفناء في عالم لايعترف إلا بسطوة العلم وقوة الفكر وروعة الإبداع. إن التقدم العلمى ثمرة لسلسلة طويلة من الاكتشافات، إذ لم يأت هذا التقدم فجأة ولكنه رصيد متراكم. فالعلم مشروع جماعى . كل من ساهم فيه كان لابد له أولًا أن يستوعب ما حققه الآخرون قبله. وتتابعيًا تم بناء هذا الصرح العظيم من تراكم الخبرة الإنسانية عبر التاريخ. ولكن المطلوب من طالب العلم فى هذا العصر أن يلم وبسرعة بما سبق تراكمه من معرفة فى فترة زمنية وجيزة حتى يمكنه أن يضيف جديدًا فى فترة حياته وهى أولًا وآخرًا فترة محدودة. كيف إذًا يمكن حصر كل ما سبقنا فيه الأولون فى فترة دراسية محددة حتى نفهم ثم نضيف؟ من حسن الحظ أننا فى دراستنا لما سبقنا فيها الأولون نأخذ خلاصة ما وصلوا إليه ونغض الطرف عن سنوات طويلة من تفاصيل العناء والبحث والتجربة والمشاهدة والمحاولات والإخفاقات. نأخذ فقط ما صح من النتائج وما انتهى إليه الآخرون قبلنا وبما استقر عليه الفهم بعد أن نضج العقل البشرى علي مدى القرون. ومن ثم فعلينا أن نركز على المفاهيم الأساسية فى هذا البحر الزاخم ونترك التفاصيل لما بعد، فلا يمكن أن يلم أحد بكافة تفاصيل العلم ولو قضى حياته كلها فى فرع صغير من فروع أى علم من العلوم. ولكننا لابد أن نركز على عدد محدود من المفاهيم الرئيسية والمرجعية ، ونمهد لما بعدها.

ينقسم هذا الكتاب إلى ثلاث وحدات:

تتناول الوحدة الأولى الموجات وهى أساس كل الاتصالات فى هذا الكون. ومن ثم يتناول الفصل الأول أساس الحركة الموجية. والفصل الثانى يتناول الضوء وهو أحد صور الموجات الكهرومغناطيسية ، مثل : موجات الإذاعة والتليفزيون ، وأساس عمل أجهزة التليفون المحمول، والتواصل مع المحطات الفضائية عبر الأقمار الصناعية .

اما الوحدة الثانية فتتناول خواص الموائع وهى السوائل والغازات وهى امتداد لقوانين الميكانيكا التى سبق دراستها فى الصف الأول من التعليم الثانوى العام ولكن فى حالة الموائع، ويختص الفصل الثالث بالموائع الساكنة، والفصل الرابع بالموائع المتحركة.

تتناول الوحدة الثالثة الحرارة حيث يتم دراسة قوانين الغازات فى الفصل الخامس.

ولقد روعى فى هذا الكتاب مايلى :

١ – إزالة الحشو والتفاصيل غير الضرورية فى هذه المرحلة الدراسية والتركيز علي المفاهيم العامة وترك الزيادات التي لا تصب مباشرة في الفهم العام للموضوع.

٢ – البدء بالموجات باعتبارها الموضوع الأعم حيث تتطلب الموجات وسطا ماديًا ( فى حالة الصوت) أو لا تتطلب هذا الوسط (مثلا فى حالة الضوء). تليها وحدة الموائع باعتبارها حالة خاصة للوسط وما قد يحدث فيه من اهتزازات أو انتقال جسيمات الوسط من مكان لآخر.

٣ – بدأ فصل الحرارة بقوانين الغازات

٤ – يتميز الكتاب باضافة أمثلة علي التطبيقات اليومية المحسوسة توضيحًا للمفاهيم الفيزيائية من الواقع سواء فى النص أو كمعلومات إثرائية لربط النظرية بالتطبيق على أن تبقى هذه المعلومات الإثرائية غير ملزمة فى الإمتحان ويظل دورها من قبيل التشويق العلمى.

٥ – يحتوى الكتاب علي عدد هائل من الصور المحدثة الواضحة مذيلة بتوصيف لكل صورة كما تم إخراج الكتاب فى أربعة ألوان طبقا للمقاييس العالمية فى الكتب المدرسية المتطورة.

٦ – يحتوى الكتاب على العديد من الأمثلة المحلولة والأسئلة والتمارين وكلها تقوى الإدراك لدى الطالب بالمعنى الفيزيائى والفهم العميق للمفاهيم الأساسية.

٧ – ذيل الكتاب بستة ملحقات عن الرموز والأبعاد والوحدات والثوابت الفيزيائية والبادئات القياسية والحروف الأبجدية اليونانية وأسماء بعض العلماء وانجازاتهم وبعض المواقع الخاصة بالفيزياء على الإنترنت.

٨ – روعى فى الكتاب أن تكون المعادلات باللغة الإنجليزية والمصطلحات باللغتين العربية والانجليزية وجميع الوحدات المستخدمة طبقا للنظام الدولى .

٩ – وقد تم تزويد الكتاب بروابط على بنك المعرفة المصرى

**www.ekb.eg**

منها ما هو فى سياق الموضوعات ، ومنها ما هو إثرائى لتعميق المعرفة والفهم تشجيعًا للطلاب على المزيد من البحث والاطلاع.

١٠ – وقد قام المركز الاستكشافى للعلوم الفرع الرئيسى – حدائق القبة – بالتجهيزات الفنية والإخراج الفنى لهذا الكتاب طبقا للمواصفات العالمية للكتب الدراسية المطورة مع مراعاة ألا يزيد عدد الأسطر فى الصفحة الوحدة عن ٢٤ سطر لإراحة العين ، والإكثار من الصور المعبرة عن المادة العلمية، والاهتمام بتصميم الغلاف كعامل جذب للطالب. وفى النهاية نوجه رسالة إلى الطالب بأن يأخذ علم الفيزياء بحب لأن فهم الفيزياء هو فهم كل ما حولنا فى الحياة وكل الاختراعات التى نتعامل معها وتلك التى ستخرج إلى النور في المستقبل القريب. ورسالة للمدرس بأن يكون تدريس الفيزياء بحب وبأسلوب مبنى علي نقل المفاهيم لا تلقين الدروس مع ربط كل مفهوم بالمشاهدات اليومية ليكون التعلم مشوقًا ومفيدًا. فقد يكون بين هؤلاء الطلبة أمامك من سيخرج فى المستقبل القريب بإذن الله ليكون علما تتحدث عنه الدنيا ويتحدث هو عنك بالفضل والعرفان علي أنه فى يوم من الأيام تعلم على يديك وفهم اصول العلم منك وأنك أنت الذى مهدت له الطريق. وكفاك بهذا فخراً.


لجنة اعداد منهج الفيزياء

أ.د مصطفى كمال محمد يوسف

أ.د. محمد سامح محمد سعيد

د. مصطفى محمد السيد محمد

د. طارق محمد طلعت سلامة

أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد

# المحتويات

# الوحدة الأولى

## الموجـــــات



الفصل الأول : الحركة الموجية

الفصل الثانى : الضــــــوء



# الوحدة الأولى

# الموجات

## الفصل الأول: الحركة الموجية

# الوحدة الأولى الموجـــات Waves

## الفصل الأول الحركة الموجية Wave Motion

### المقدمة :

يجد بعضنا متعته فى مراقبة الموجات تتهادى فوق سطح الماء ، تداعب عوامة صغيرة لشص (سنارة) يستخدم فى صيد السمك، أو تضرب بخفة قاربًا صغيرًا فيتأرجح القارب ويهتز، ويجد بعضنا الآخر متعته فى الجلوس على شاطئ بحيرة أو بركة يلقى فى الماء – من آن لآخر – حصاة صغيرة ، فيكون تصادم كل حصاة مع سطح الماء بمثابة مصدر اضطراب ينتشر فوق سطح الماء على هيئة دوائر منتظمة ، مركزها موضع سقوط تلك الحصاة ( شكل ١ –١) وهو ما اصطلحنا على تسميته بالموجات

**فالموجة هى اضطراب ينتقل وينقل الطاقة.**



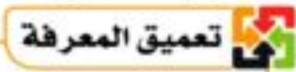
شكل (١ – ١)
موجات تنتشر من مصدر على هيئة نقطة يحدث عندها اضطراب

وليست موجات الماء هى وحدها الموجات التى نألفها ، فكثيرًا ما يطرق آذاننا كل صباح صوت المذيع، معلنا : هنا القاهرة إذاعة القاهرة تحييكم وتبدأ إرسالها لكم على موجة متوسطة طولها 366.7m مثلا . كذلك فالتليفزون ينقل الصوت والصورة ، حيث تتحول إلى موجات تنتشر فى الفراغ ويستقبلها الهوائى (الإيريال) فتتحول هذه الموجات إلى إشارات كهربية فى جهاز الاستقبال ، حيث يتم تحويلها إلى صوت وصورة. كذلك فإن التليفون المحمول يتعامل مع موجات تنقل الصوت من المرسل إلى المستقبل، حيث تتحول الإشارات الصوتية إلى إشارات كهربية ، ومنها إلى إشارات كهرومغناطيسية تنتشر فى الفراغ والوسط المحيط ،

ويستقبلها هوائى التليفون المحمول لدى المستقبل ، فتتحول إلى إشارة كهربية ثم إلى صوت وأحيانًا إلى صورة .

موجات الماء نراها، ولكن موجات الراديو والتليفزيون والتليفون المحمول ندركها من آثارها. موجات الماء موجات ميكانيكية Mechanical waves وكذلك موجات الصوت والموجات المنتشرة فى الأوتار أثناء اهتزازها، لكن موجات الراديو والتليفزيون والتليفون المحمول تسمى موجات كهرومغناطيسية Electromagnetic Waves

من هذه الموجات الكهرومغناطيسية – أيضًا – موجات الضوء وموجات الأشعة السينية (X-rays) التى تستخدم فى التشخيص الطبى الإشعاعى وغيرها. والموجات الميكانيكية تتطلب وسطًا ماديًا تنتشر فيه، بينما الموجات الكهرومغناطيسية لا تتطلب ضرورة وجود مثل هذا الوسط إذ يمكنها الانتشار فى الفراغ.




لتعميق معرفتك في هذا الموضوع يمكنك الاستعانة ببنك المعرفة المصري من خلال الرابط المقابل:



## الموجات الميكانيكية *Mechanical waves*

تتطلب الموجات الميكانيكية وجود:

(١) مصدر اهتزاز أو متذبذب

(٢) نوع من الاضطراب ينتقل من المصدر إلى الوسط.

(٣) الوسط الذى يحمل الاهتزاز

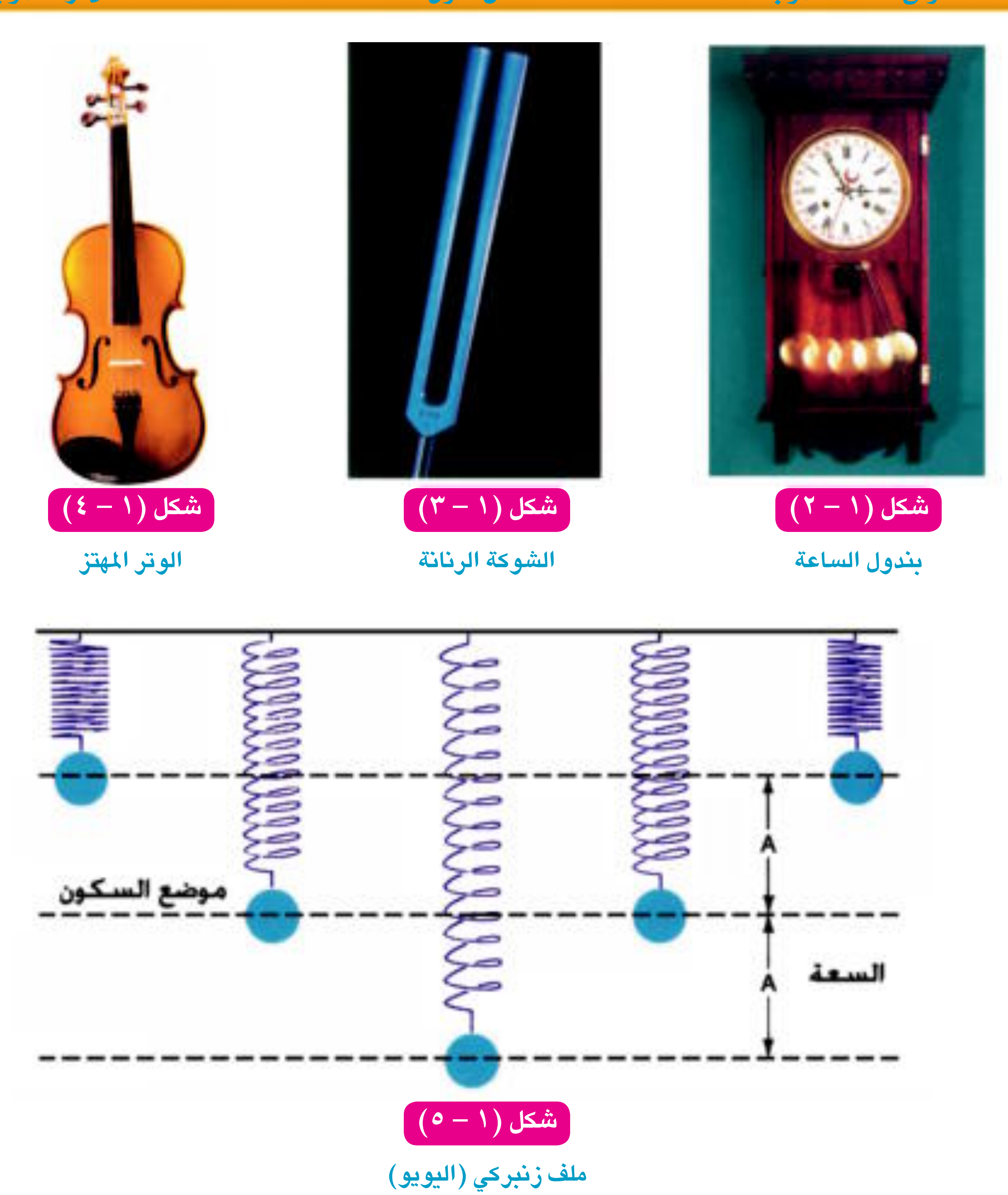
والمصادر المهتزه كثيرة ومتنوعة منها:

(١) البندول البسيط المهتز ، مثل بندول الساعة ( شكل ١ – ٢ )

(٢) الشوكة الرنانة المهتزة (شكل ١ – ٣)

(٣) الوتر المهتز (شكل ١ – ٤)

(٤) ثقل معلق فى ملف زنبركى أثناء اهتزازه وهو ما يعرف باليويوYoyo (شكل ١ – ٥).




شكل (١ – ٢)
بندول الساعة

شكل (١ – ٣)
الشوكة الرنانة

شكل (١ – ٤)
الوتر المهتز

شكل (١ – ٥)
ملف زنبركي (اليويو)

**ويرتبط بالحركة الاهتزازية بعض الكميات الفيزيائية الضرورية مثل : الإزاحة** Displacement ، **والسعة** Amplitude **والاهتزازة الكاملة** Complete Oscillation **والزمن الدورى** Periodic Time ، **والتردد** Frequency **وفيما يلى تعريف كل منها:**

١- الإزاحة (meter) Displacment هى بعد الجسم المهتز فى أى لحظة عن موضع سكونه أو اتزانه الأصلى ، وهى كمية متجهة .

٢- سعة الاهتزازة (meter) (A) Amplitude هى أقصى إزاحة للجسم المهتز أو هى المسافة بين نقطتين في مسار حركته تكون سرعته فى إحداهما أقصاها وفى الأخرى منعدمة.

٣- الاهتزازة الكاملة Complete Oscillation : هى الحركة التى يعملها الجسم المهتز فى الفترة الزمنية التى تمضى بين مروره بنقطة واحدة في مسار حركته مرتين متتاليتين و فى اتجاه واحد ، أى يكون له نفس الطور Phase بالنسبة لنقطة بداية الحركة .

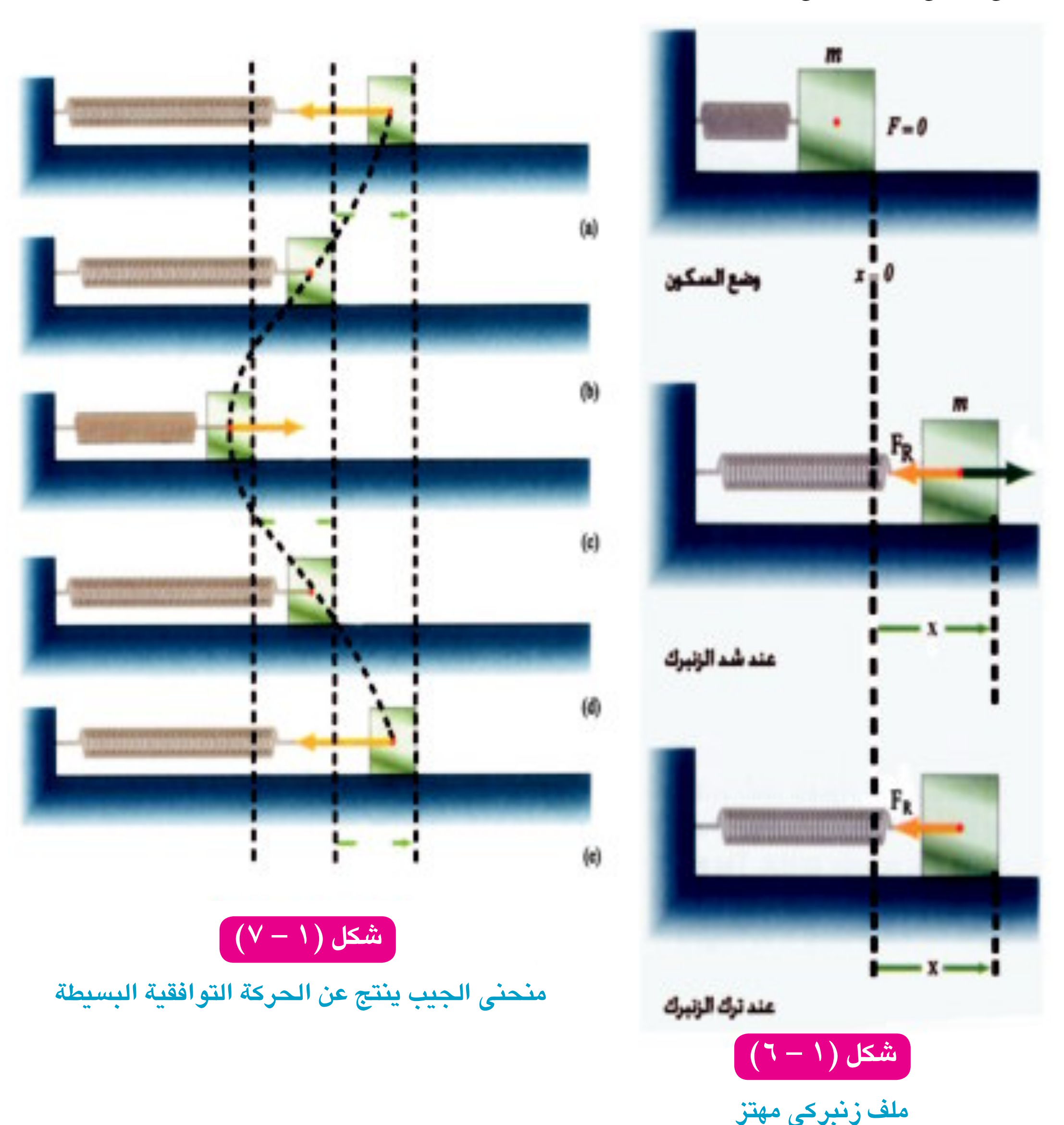
٤- التردد (Hertz or Hz ) (ν) Frequency) هو عدد الاهتزازات الكاملة التى يحدثها الجسم المهتز فى الثانية الواحدة.

٥- الزمن الدورى (Second) (T) Period هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز فى عمل اهتزازة كاملة ، أو هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز ليمر بنقطة واحدة فى مسار حركته مرتين متتاليتين فى اتجاه واحد.

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (1\text{-}1)$$

## الموجات الطولية:

إذا تخيلنا ثقلًا موضوعًا فوق سطح أفقى أملس ومثبت فى أحد طرفيه زنبرك وطرفه الآخر مثبت فى حائط رأسى ، ثم جذبنا الثقل فى اتجاه محور الزنبرك وتركناه ، فإنه يتحرك حول موضع استقراره حركة ترددية نحو الزنبرك وبعيدًا عنه (شكل ١ – ٦) وتسمى مثل هذه الحركة الحركة التوافقية البسيطة . فإذا رسمنا المنحنى الذى يتحرك بموجبه مركز ثقل الجسم عن وضع استقراره بالنسبة للزمن نحصل على منحنى بيانى هو منحنى الجيب Sine Wave (شكل ١ – ٧) وهو ما يميز الحركة التوافقية البسيطة.




شكل (١ – ٧)

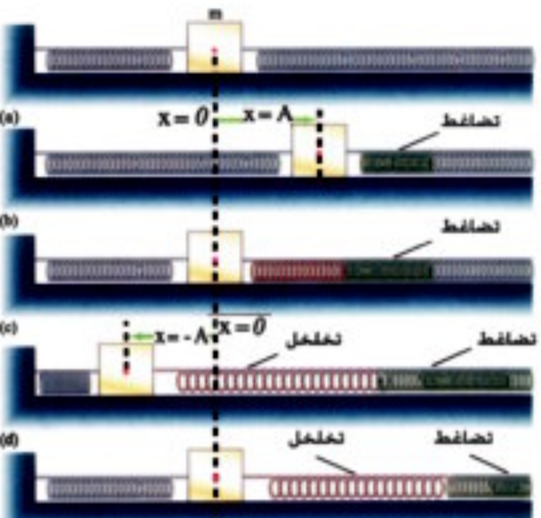
منحنى الجيب ينتج عن الحركة التوافقية البسيطة

شكل (١ – ٦)

ملف زنبركى مهتز

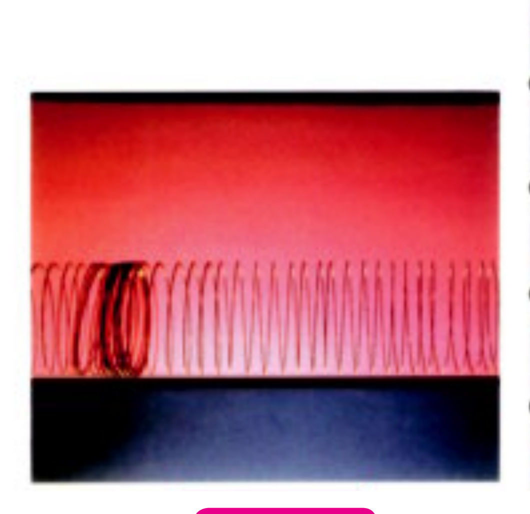
أيضا لنتصور كتلة m فوق سطح أفقى أملس، مثبتة من أحد طرفيها فى زنبرك والطرف الآخر فى زنبرك طويل مثبت عند طرفه البعيد فى حائط رأسى (شكل ١ – ٨أ) فإذا جذبنا الكتلة m جهة اليمين فى اتجاه محور الزنبرك إلى الموضع $x = A$ فإن جزءًامن الزنبرك على يمين A ينضغط وهذا التضاغط Compression يؤثر بقوة على الزنبرك جهة اليمين، ويعمل ذلك على ضغط حلقاته بصورة متتابعة. وهكذا ينتقل التضاغط تباعًا إلى جهة اليمين ويعمل ذلك على وضع $x = -A$ فإن الزنبرك على يمين الكتلة يستطيل وتتباعد حلقاته محدثة نوعًا من الخلخلة. وهذا التخلخل Rarefaction سرعات ما ينتشر جهة اليمين عبر الزنبرك عندما تعود الكتلة m إلى وضع الاستقرار x = zero مرة أخرى.

وتمثل هذه المجموعة من التضاغطات والتخلخلات موجة ناشئة عن تذبذب جسيمات الوسط ( الذى يمثله هنا الزنبرك) فى حركة توافقية بسيطة ولكن اتجاه انتشار الموجة هو نفسه اتجاه انتقال الاضطراب. وتسمى هذه الموجة بالموجة الطولية Longitudinal Wave حيث تنتقل التضاغطات والتخلخلات على طول الزنبرك (شكل ١ – ٨ ب).




شكل (١ – ٨أ)

التضاغطات والتخلخلات فى موجة طولية



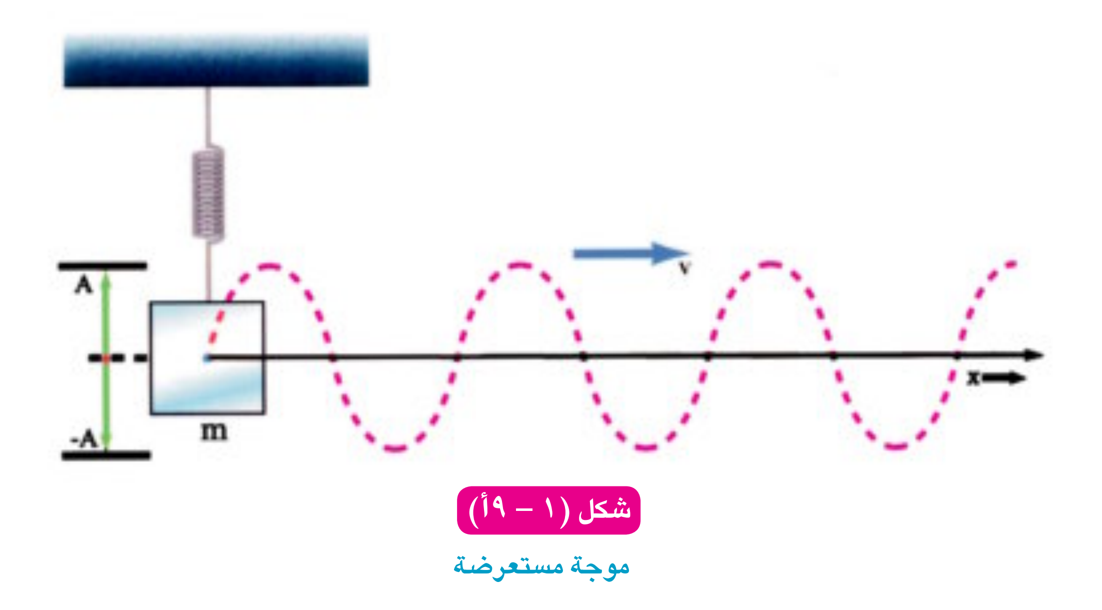
شكل (١ – ٨ب)

زنبرك مهتز مكونًا موجة طولية

وهكذا فإن المصدر المتذبذب الذى يصنع حركة توافقية بسيطة يمكن أن يولد موجة تنتشر بسرعة v، حيث يقوم كل جزء من الوسط بدوره بحركة توافقية بسيطة حول موضع اتزانه ، ومثال على ذلك موجات الصوت الطولية التى تنتشر فى الهواء .

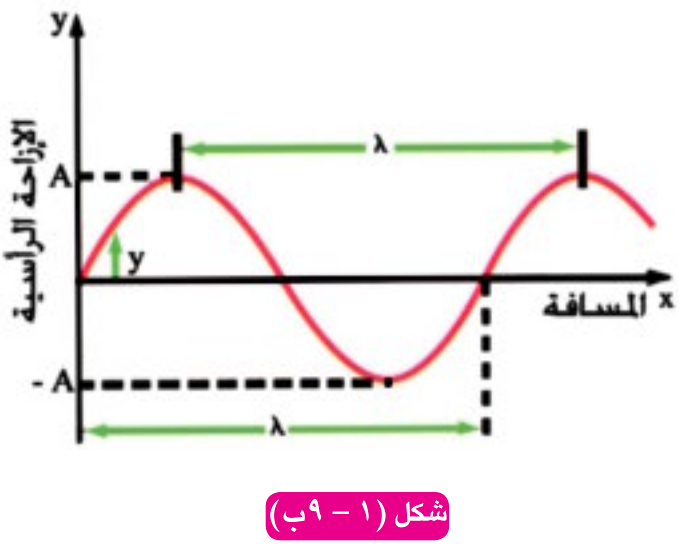
## الموجات المستعرضة:

إذا تصورنا أن الكتلة m مثبتة في زنبرك رأسى ومثبت بها طرف حبل طويل أفقى مشدود، ومثبت طرفه البعيد فى حائط رأسى ، فعندما تقوم الكتلة m ، بعمل حركة توافقية بسيطة فى الاتجاه الرأسى يقوم تبعًا لذلك طرف الحبل المثبت بها بنفس الحركة وهذا يؤدى إلى تذبذب الأجزاء التى تلى هذا الجزء من الحبل بصورة متتابعة ، جزء يلى الآخر . وهكذا تنتقل الحركة على طول الحبل على هيئة موجة فى اتجاه أفقى بسرعة v ، بينما تتحرك أجزاء الحبل حركة توافقية بسيطة فى اتجاه رأسى وهذه الموجة تسمى موجة مستعرضة Transverse Wave (شكل ١ – ٩)




شكل (١ – ٩أ)

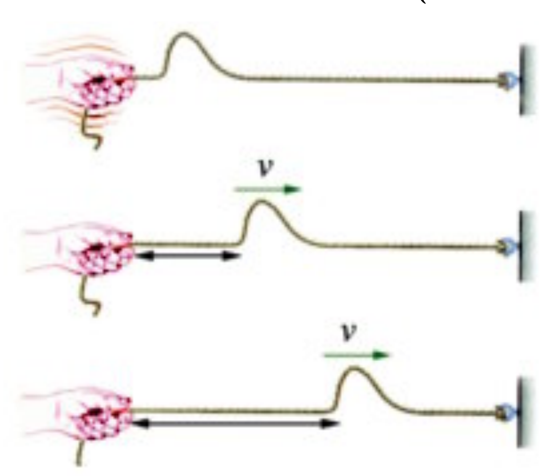
موجة مستعرضة




شكل (١ – ٩ب)

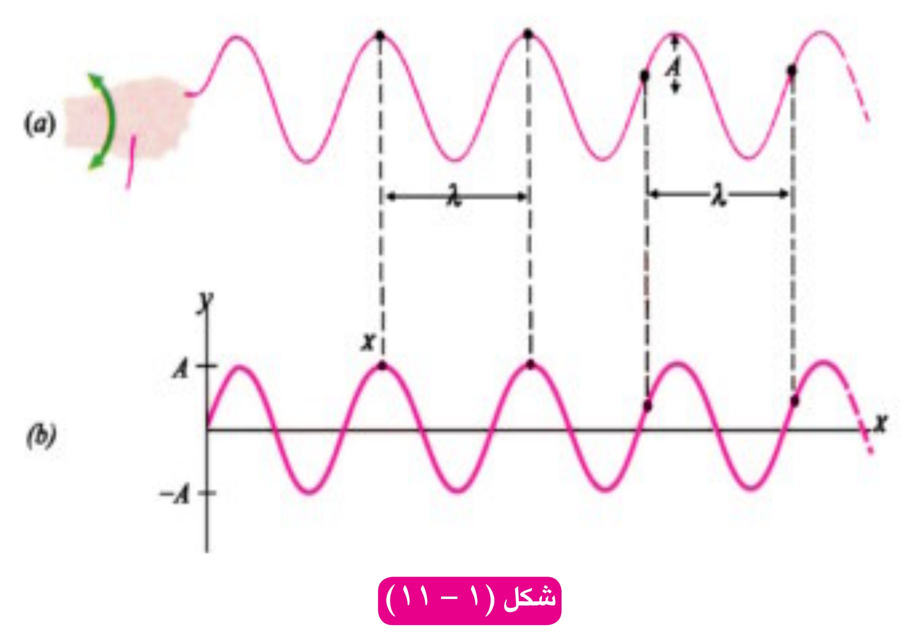
المنحنى الجيبي للإزاحة الرأسية

ويمكنك إجراء مثل هذه التجربة بنفسك باستخدام حبل طويل مشدود ، مثبت أحد طرفيه (الطرف البعيد) بحائط رأسي ، بينما طرفه الآخر مشدود بيدك، وعندما تحرك يدك رأسيًا لأعلى ولأسفل على شكل نبضة Pulse ، تلاحظ انتشار موجة على شكل نبضة ، تنتشر على طول الحبل ، وتسمى هذه الموجة موجة مرتحلة Travelling Wave (شكل ١ – ١٠)




شكل (١ – ١٠)

نبضة ناتجة عن حركة توافقية بسيطة




شكل (١ – ١١)

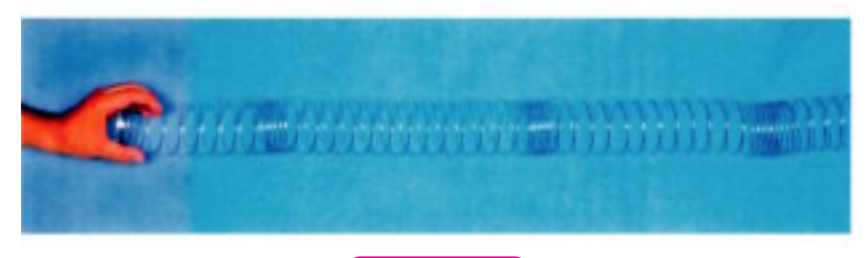
قطار من الموجات ينتشر فى حبل مشدود نتيجة حركة

توافقية بسيطة عند أحد طرفيه

وتكون هذه الموجة متواصلة (قطاراً من الموجات المرتحلة) ، طالما ظلت الحركة التوافقية البسيطة مستمرة (شكل ١ – ١١)

ويمكن استبدال الحبل المشدود بملف زنبركى ، حيث يمكن توليد موجة طولية (شكل ١ – ١٢) أو مستعرضة (شكل ١ – ١٣)

وكما نرى ، فإنه عندما يهتز المصدر تهتز جزيئات الوسط المحيط بنفس الكيفية . إذًا ينتقل الاهتزاز– أولًا – من المصدر إلى جزيئات الوسط المجاورة له أو المتصلة به ، ومنها إلى جزيئات الوسط التى تليها ، وهكذا ينتشر هذا الاهتزاز أو هذا الاضطراب فى الوسط على هيئة حركة موجية ، فالموجة كما سبق أن ذكرنا ما هى إلا اضطراب ينتقل وينقل الطاقة.



شكل (١ – ١٢)

ملف زنبركي مهتز على شكل

موجة طولية



شكل (١ – ١٣)

ملف زنبركي مهتز على شكل

موجة مستعرضة

وهكذا يمكن تصنيف الموجات الميكانيكية إلى نوعين هما:

(١) الموجات المستعرضة Transverse Waves

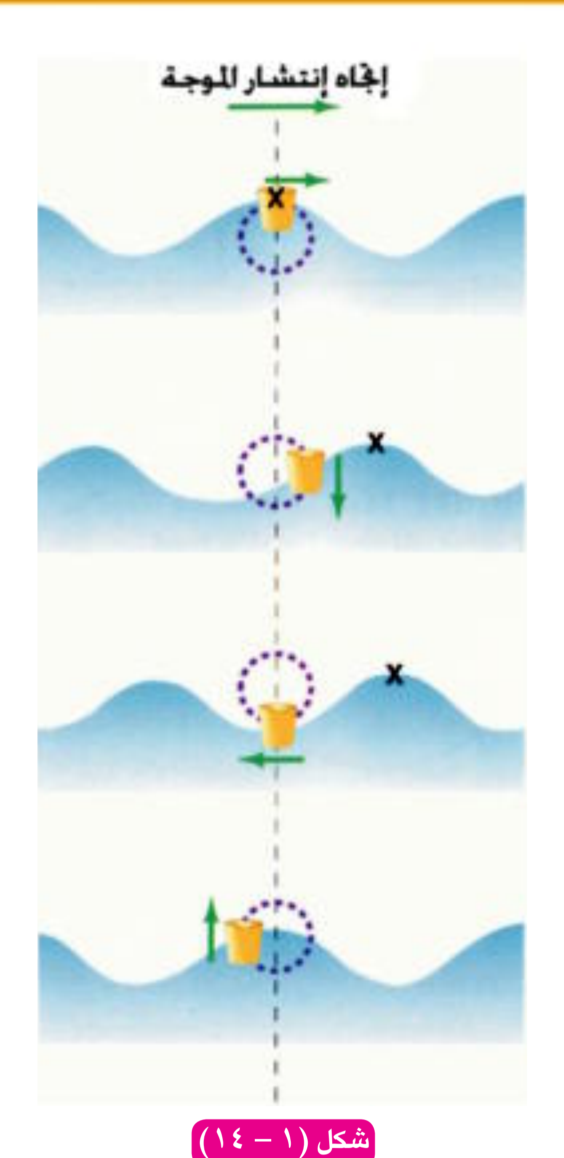
(٢) الموجات الطولية Longitudinal Waves

فالموجات المستعرضة Transverse Waves هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها فى اتجاه عمودي على اتجاه انتشار الحركة الموجية .

والموجات الطولية Longitudinal Waves هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها على نفس خط انتشار الحركة الموجية .

وبديهي أن الشغل الذى يبذله المصدر المهتز على الوتر ينتقل علي هيئة طاقة وضع تتمثل فى شد الوتر، وطاقة حركة تتمثل فى اهتزاز الوتر.

وبالرجوع إلى الشكل (١ – ١٤) تسمى النقط التى تمثل النهايات العظمى للإزاحة فى الاتجاه الموجب باسم القمم (مفردها قمة Crest) بينما تسمى النقط التى تمثل النهايات العظمى للإزاحة فى الاتجاه السالب باسم القيعان (مفردها قاع Trough) وبملاحظة أى جزء من أجزاء الوتر أثناء اهتزازة ، نجد أنه يحدث قمة وقاعًا متتالين خلال اهتزازة كاملة، أى أن حركة الموجة المستعرضة تشتمل على قمة وقاع متتالين خلال اهتزازة كاملة.

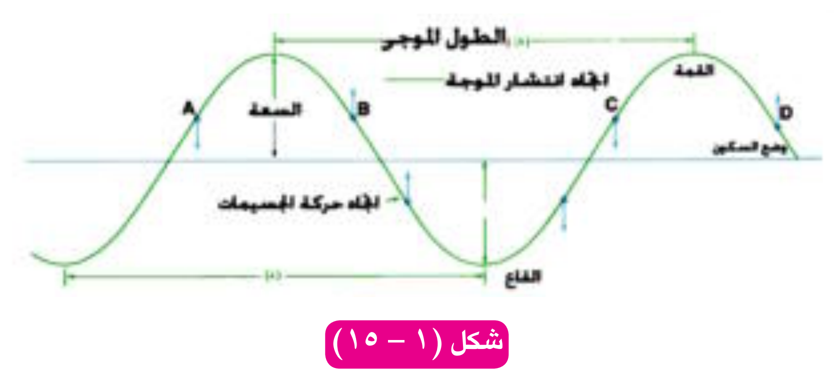



شكل (١ – ١٤)

قطعة فلين تطفو أعلى الموجة (قمة) وأسفل الموجة (قاع)

**الطول الموجي** $(meter)\ (\lambda)$ *Wavelength* **والتردد** $(Hertz)(\nu)$*Frequency*

يعبر عن المسافة بين أى قمتين متتاليتين أو قاعين متتالين فى الموجة المستعرضة بالطول الموجى لها (شكل ١ – ١٥) كما يعبر عن المسافة بين مركزى أى تضاغطين متتالين أو مركزى أى تخلخلين متتالين فى الموجة الطولية بالطول الموجى لها (شكل ١ – ١٦)



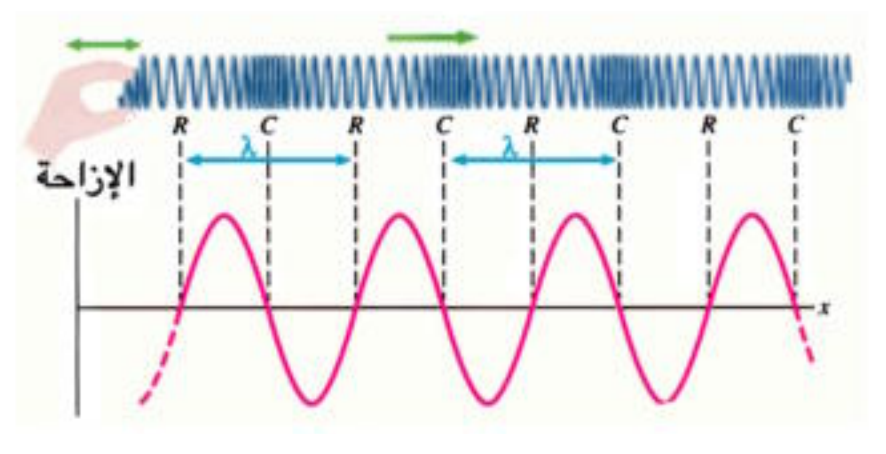

شكل (١ – ١٥)

تعريف الطول الموجى فى موجة مستعرضة

وعلى هذا ، يمكن أن يُمثّل الطول الموجى بإحدى المسافتين (AC)، (BD) كما فى الشكل (١ – ١٥) ويلاحظ أن كل نقطتين متتاليتين (A، C) ، (B، D) تتحركان فى وقت واحد ، بكيفية واحدة ، وفى اتجاه واحد ، يكون لهما نفس الطور Phase ( أى لهما نفس الإزاحة ونفس الاتجاه)

∴ الطول الموجى : هو المسافة بين أى نقطتين متتاليتين لهما نفس الطور (شكل ١ – ١٦)

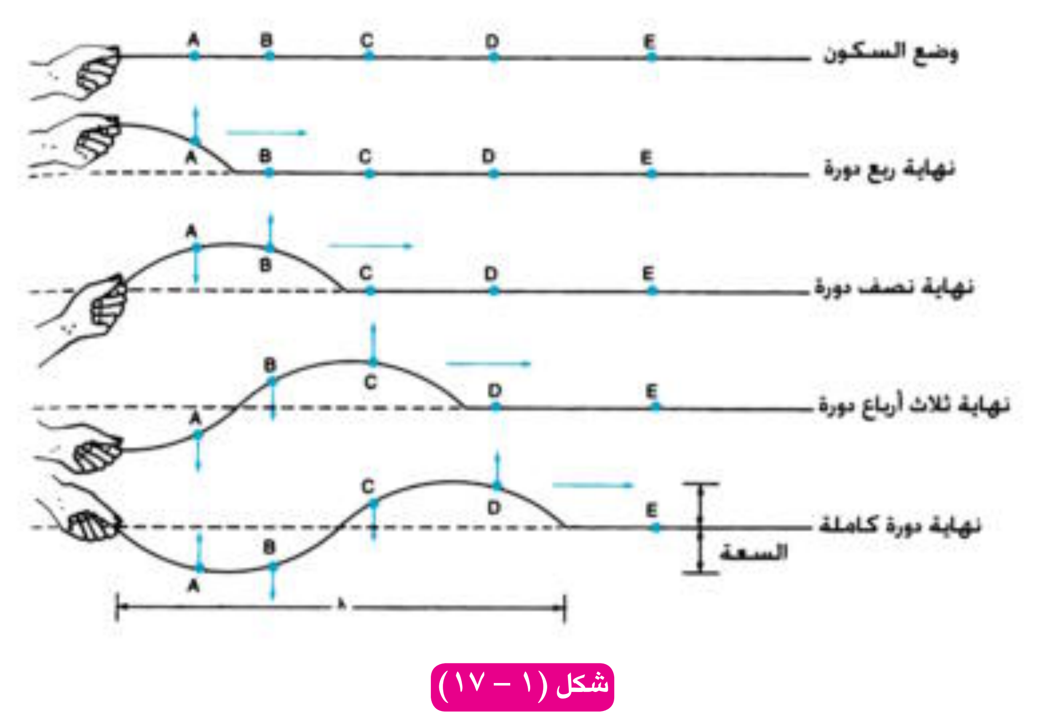
أو هو المسافة التى تتحركها الموجة خلال زمن دورى واحد (شكل ١ – ١٨)




شكل (١ – ١٦)

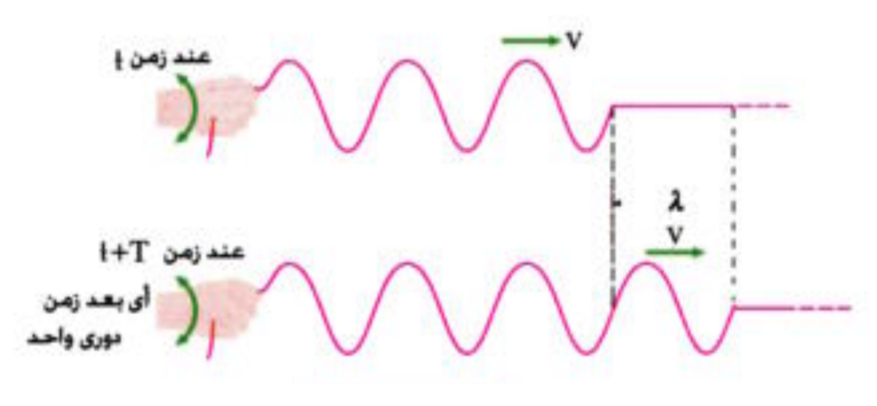
تعريف الطول الموجى فى موجة طولية

ويطلق على عدد الموجات التى تمر بنقطة معينة فى مسار الحركة الموجية فى زمن قدره واحد ثانية اسم التردد.




شكل (١ – ١٧)

المسافة التي تقطعها الموجة خلال زمن دورة واحدة هى الطول الموجى




شكل (١ – ١٨)

تعريف الطول الموجي فى موجة طولية

## العلاقة بين التردد والطول الموجي وسرعة انتشار الموجات :

إذا انتقلت موجة بسرعة v من مكان إلى آخر يبعد مسافة تعادل الطول الموجى λ فإن الموجة تستغرق زمنًا قدره الزمن الدورى T

$$V = \frac{\lambda}{T}$$

ونظرًا لأن

$$\nu = \frac{1}{T}$$

أو

$$T = \frac{1}{\nu}$$

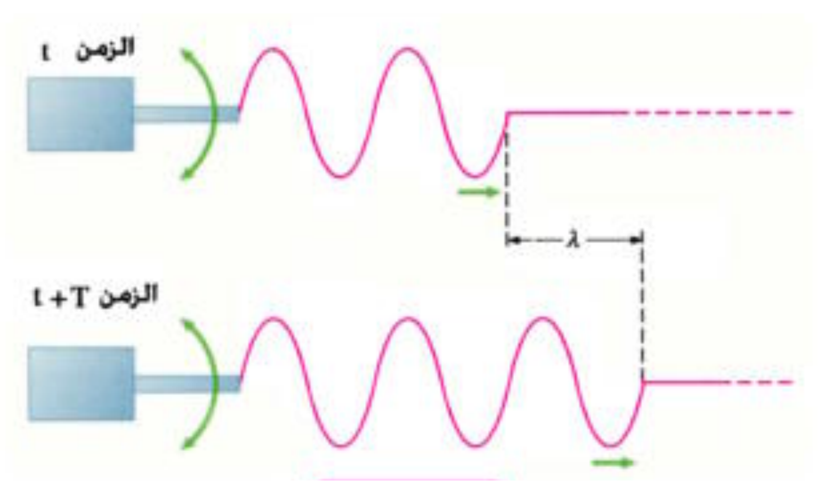
فإن

$$v = \lambda \nu \quad (1\text{-}2)$$

وهذه علاقة عامة لانتشار جميع أنواع الموجات سواء كانت قطارًا من موجات أو نبضة واحدة (شكل ١ – ١٩)

أى أنه فى زمن دورى T تنتقل الموجة مسافة تعادل الطول الموجى

والتردد هو عدد الاهتزازات فى الثانية الواحدة . أو هو عدد الأطوال الموجية التى تقطعها الموجة المنتشرة في اتجاه معين فى ثانية واحدة .




شكل (١ – ١٩)

قطار من الموجات ينتشر بسرعة v

## أمثلة

**(١) إذا كان طول الموجة الصوتية التي يصدرها قطار 0.6m وتردد النغمة الصادرة 550Hz فما سرعة انتشار الموجات الصوتية فى الهواء؟**

الحل:

$$v = \lambda \nu$$

$$v = 0.6 \times 550 = 330 \, m/s$$

**(٢) إذا كان عدد موجات الماء التى تمر بنقطة معينة فى زمن قدره واحد ثانية هو 12 موجة وكان طول الموجة الواحدة 0،1m إحسب سرعة إنتشار الموجات**

الحل

$$v = \lambda \nu$$

$$v = 12 \times 0.1 = 1.2 \, m/s$$

**(٣) تنتشر موجات الضوء فى الفضاء بسرعة تساوى 300 ألف كيلو متر فى الثانية ($3x10^8 m/s$) فإذا كان طول موجة الضوء Å 5000 فما تردد هذا الضوء؟**

1 Angstrom(Å)=$10^{-10}$m

الحل:

$$v = c = 3 \times 10^8 \, m/s$$

$$\lambda = 5 \times 10^3 \times 10^{-10} = 5 \times 10^{-7} \, m$$

$$c = \lambda \nu$$

$$3 \times 10^8 = 5 \times 10^{-7} \times \nu$$

$$\nu = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^{-7}} = 6 \times 10^{14} \, Hz$$





لتعميق معرفتك في هذا الموضوع يمكنك الاستعانة ببنك المعرفة المصري من خلال الروابط المقابلة:




## تلخيص

- الموجة : هى اضطراب ينتقل وينقل الطاقة.
- الإزاحة : هى بعد الجسم فى أى لحظة عن موضع سكونه ( أو اتزانه) الأصلي.
- سعة الاهتزازة A: هى أقصى إزاحة للجسم المهتز عن موضع سكونه أو هى المسافة بين نقطتين فى مسار حركة الجسم المهتز تكون سرعته فى إحداهما أقصاها وفى الأخرى منعدمة.
- الاهتزازة الكاملة: هى الحركة التى يعملها الجسم المهتز ( مثل البندول البسيط) فى الفترة الزمنية التى تمضى بين مروره بنقطة معينة فى مسار حركته مرتين متتاليتين فى اتجاه واحد.
- التردد ν : هو عدد الاهتزازات الكاملة التى يحدثها الجسم المهتز فى الثانية الواحدة.

$$\text{التردد} = \frac{1}{\text{الزمن الدورى}}$$

أو هو عدد الموجات التى تمر بنقطة معينة فى مسار الحركة الموجية فى زمن قدرة واحد ثانية.

- الزمن الدورى T: هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز فى عمل اهتزازة كاملة، أو هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز (مثل البندول البسيط) ليمر بنقطة معينة فى مسار حركته مرتين متتاليتين فى اتجاه واحد .
- الموجات الميكانيكية نوعان:

(١) موجات مستعرضة. (٢) موجات طولية.

- الموجات المستعرضة : هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها ، في اتجاه عمودى على اتجاه انتشار الحركة الموجية.
- الموجات الطولية : هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها ، على نفس خط انتشار الحركة الموجية.
- الموجات المستعرضة تتكون من قمم وقيعان متتالية.
- الموجات الطولية تتكون من تضاغطات وتخلخلات متتالية.
- الطول الموجى : هو المسافة بين أى نقطتين متتاليتين في اتجاه انتشار الموجة لهما نفس الطور (نفس الإزاحة ، ونفس الاتجاه)
- العلاقة بين التردد والطول الموجى وسرعة انتشار الموجات هى : $v=\lambda x \nu$

## اسئلة وتمارين

### أولًا : عرف كل من:

١ – الموجة ٢ – الموجة المستعرضة

٣ – الموجة الطولية ٤ – طول الموجة

### ثانيًا : أكمل كل من العبارات التالية:

(أ) الإزاحة هى ........................................

(ب) سعة الاهتزازة هى ........................................

(جـ) الاهتزازة الكاملة هى ........................................

(د) الزمن الدوري هو ........................................

(هـ) التردد هو ........................................

### ثالثًا: أسئلة المقال

استنتج العلاقة بين التردد والطول الموجى وسرعة انتشار الموجات؟

### رابعًا : ضع علامة (✔) أمام الاختيار الصحيح فيما يلى :

١ – العلاقة بين سرعة انتشار الموجات V فى وسط مادي وترددها v وطولها الموجي هى :

(أ) $V=\lambda x v$ (ب) $v=\frac{v}{\lambda}$

(جـ) $v=\frac{\lambda}{v}$ (د) لا توجد إجابة صحيحة

٢ – الموجات المستعرضة هي موجات تتكون من :

(أ) تضاغطات وتخلخلات.

(ب) قمم وقيعان.

(ج) قمم وقيعان وتتحرك فيها جزيئات الوسط لمسافات قصيرة حول مواضع سكونها فى اتجاه عمودى على اتجاه انتشارها.

(د) تضاغطات وتخلخلات وتتحرك فيها جزيئات الوسط لمسافات قصيرة حول مواضع سكونها على نفس خط إنتشار الحركة الموجية .

**٣ – إذ كان طول الموجة الصوتية التى يصدرها مصدر صوتي هو** 0.5m **وتردد النغمة** 666Hz **تكون سرعة انتشار الصوت فى الهواء.**

(أ) 338m/s　　(ب) 333m/s

(ج) 330m/s　　(د) 346m/s

**٤– إذا كانت سرعة الصوت فى الهواء هى** 340m/s **تنتشر فيه نغمة ترددها** 225Hz **يكون طولها الموجي مقدرًا بالمتر هو :**

(أ) $\frac{4}{3}$　　(ب) $\frac{3}{4}$

(ج) 20　　(د) $\frac{3}{2}$

**٥ – ضوء طوله الموجى** 6000A° (1Angstrom (Å)=$10^{-10}$m) **ينتشر فى الفضاء بسرعة** $300x10^3$km/s **يكون تردده هو:**

(أ) $4x10^{10}$Hz　　(ب) $4x10^{14}$ Hz

(ج) $5x10^{14}$Hz　　(د) $5x10^{12}$ Hz

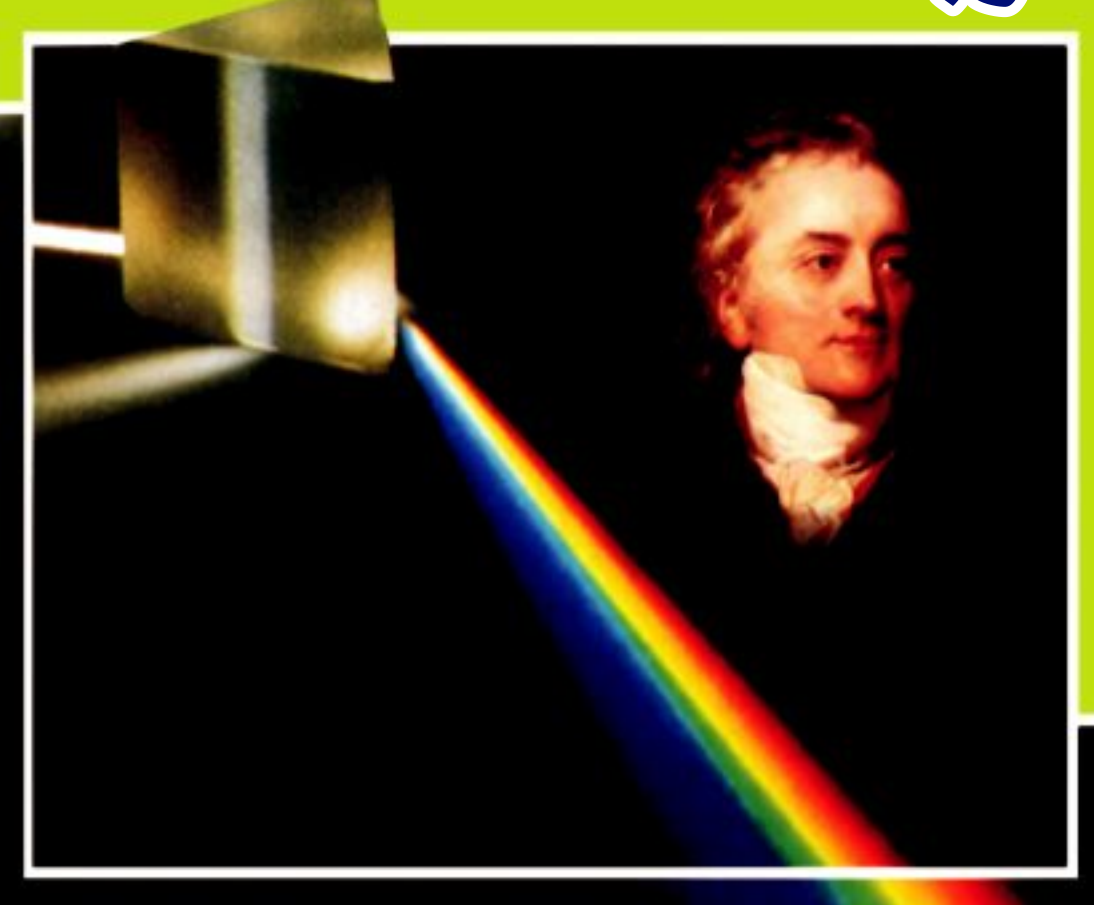
**٦– موجتان ترددهاما** 512 Hz ،256Hz **تنتشران فى وسط معين ، تكون النسبة بين طوليهما الموجيين هى :**

(أ) $\frac{2}{1}$　　(ب) $\frac{1}{2}$

(ج) $\frac{3}{1}$　　(د) $\frac{1}{3}$

# الوحدة الأولى

# الموجـات



## الفصل الثانى: الضـــوء

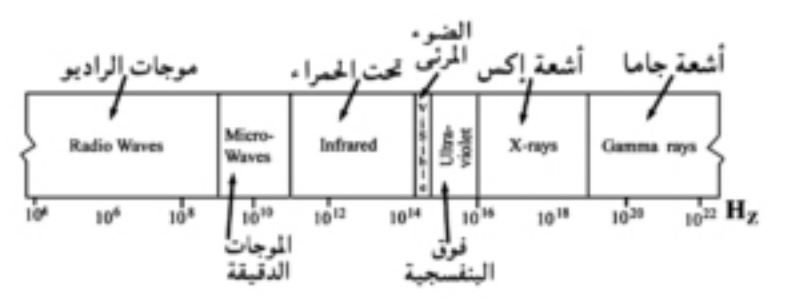
## الفصل الثانى

# الضـــــــوء

**مقدمة :**

الضوء جزء من مدى واسع من الموجات تسمى الموجات الكهرومغناطيسية تنتشر جميعها بسرعة ثابتة في الفراغ قدرها $3 \times 10^8$ m/s ، وتتباين فيما بينها في ترددها،معطيه ما يسمى الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic Spectrum شكل (٢-١) .

ويشمل على سبيل المثال موجات الراديو Radio Waves ، وموجات الأشعة تحت الحمراء Infrared، وموجات الضوء المنظور Visible Light، وموجات الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet، وموجات الأشعة السينية X–rays، وموجات أشعة جاما Gamma(γ)–rays وجميعها لها خواص مشتركة.




شكل (٢ – ١)

الطيف الكهرومغناطيسى

ويبين الرابط المقابل الخواص المشتركة للموجات الكهرومغناطيسية فهي تنتشر أو تنتقل في الفضاء بنفس السرعة،وجميعها موجات مستعرضة. وإن كانت تختلف في تردداتها وأطوالها الموجية.



## انعكاس الضوء وانكساره :

ينتشر الضوء في جميع الإتجاهات في خطوط مستقيمة ما لم يصادفه وسط عائق. فإذا صادفه عائق فإنه يعاني انعكاساً أو انكساراً أو إمتصاصاً بنسب مختلفة حسب طبيعة الوسط العائق.

عند سقوط شعاع ضوئي على سطح فاصل بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية فإن جزءاً من الضوء ينعكس،والجزء الآخر ينكسر مع إهمال الجزء الممتص.

ونلاحظ من الشكل المقابل ما يلى:

يقع كل من الشعاع الساقط والمنعكس والمنكسر والعمود المقام على السطح الفاصل من نقطة السقوط في مستوى واحد عمودى على السطح الفاصل.

- في حالة الإنعكاس:

زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

- في حالة الإنكسار:

النسبة بين جيب زاوية السقوط في الوسط الأول إلى جيب زاوية الإنكسار في الوسط الثانى كالنسبة بين سرعة الضوء في الوسط الأول إلى سرعة الضوء فى الوسط الثانى ، وهى نسبة ثابتة لهذين الوسطين ويطلق عليها اسم معامل الإنكسار النسبي من الوسط الأول إلى الوسط الثانى . ويرمز له بالرمز $_1n_2$

أى أن

$$\frac{\sin\phi}{\sin\theta} = \frac{v_1}{v_2} = {}_1n_2 \qquad (2-1)$$

شكل (٢ – ٢)

انعكاس وانكسار الضوء

## نتائج هامة

(١) تعد سرعة الضوء في الفضاء أو الفراغ من الثوابت الكونية وتساوى $3 \times 10^8$ m/s ، وسرعة الضوء في الفضاء أو الفراغ أكبر من سرعته في أي وسط مادى. وإذا رمزنا لسرعة الضوء فى الفراغ بالرمز c ولسرعة الضوء فى الوسط المادى بالرمز v فإن النسبة $\frac{c}{v}$ تسمى معامل الانكسار المطلق لهذا الوسط ويرمز له بالرمز n وقيمته أكبر من الواحد الصحيح؟

$$n = \frac{c}{v} \qquad (2-2)$$

ومعاملات انكسار بعض المواد مدرجة فى الجدول التالي:

| الوسط المادي | معامل الانكسار له n |
|---|---|
| الهواء | 1.00293 |
| الماء | 1.333000 |
| البنزين | 1.501000 |
| رابع كلوريد الكربون | 1.461000 |
| الكحول الإيثيلي | 1.361000 |
| الزجاج التاجي | 1.52000 |
| الزجاج الصخرى | 1.660000 |
| الكوارتز | 1.4850000 |
| الماس | 2.419000 |

(٢) من العلاقة (2-2) يتضح أن:

$$v = \frac{c}{n}$$

أي أن

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

ومنها يكون

$$_1n_2 = \frac{n_2}{n_1} \qquad (2\text{-}3)$$

وبالتعويض من (2-3) فى (2-1)

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\phi}{\sin\theta}$$

أي أن

$$n_1 \sin\phi = n_2 \sin\theta \qquad (2\text{-}4)$$

وهذا ما يعرف بقانون سنل Snell's law.

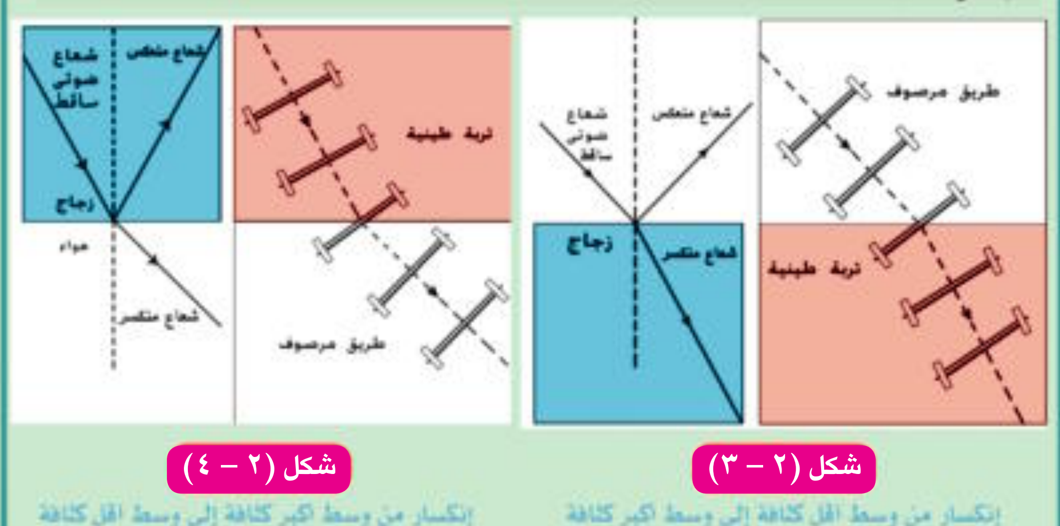
أى أن حاصل ضرب معامل الانكسار المطلق لوسط السقوط في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل الانكسار المطلق لوسط الانكسار في جيب زاوية الانكسار.

٣ -يمكن استخدام الانكسار في تحليل حزمة ضوئية إلى مركباتها ذات الأطوال الموجية المختلفة حيث يختلف معامل الانكسار المطلق تبعاً للطول الموجي،ولذلك يتشتت الضوء الأبيض إلى مكوناته،ويمكن ملاحظة ذلك في فقاعات الصابون.

**معلومة إثرائية**

### تفسير الانكسار

إذا سقط الضوء من وسط اقل كثافة إلى وسط أعلى كثافة اقترب الشعاع المنكسر من العمود ويماثل ذلك عربة تدخل إحدى عجلاتها في منطقة طينية تبطئها، بينما العجلة الأخري أسرع، فيحدث انحناء في المسار (شكل٢–٣). والعكس حين يحدث انكسار من المنطقة أعلي في الكثافة إلي منطقة أقل في الكثافة فيكون الشعاع المنكسر بعيدا عن العمود (شكل٢–٤).




شكل (٢ – ٤) إنكسار من وسط اكبر كثافة إلى وسط اقل كثافة

شكل (٢ – ٣) إنكسار من وسط اقل كثافة إلى وسط اكبر كثافة

## أمثلة

١-إذا سقط شعاع ضوئى على سطح لوح زجاجي معامل انكساره 1،5 بزاوية سقوط °30 فاحسب زاوية الإنكسار.

**الحل:**

$$\because \quad n = \frac{\sin\phi}{\sin\theta}$$

$$\therefore \quad 1.5 = \frac{\sin 30}{\sin\theta}$$

$$\sin\theta = \frac{0.5}{1.5} = 0.333$$

ومنها $\therefore \quad \theta = 19^{\circ}\,28'$

٢-إذا كان معامل الانكسار المطلق للماء $\frac{4}{3}$ ومعامل الإنكسار المطلق للزجاج $\frac{3}{2}$

فأوجد:

أ-معامل الانكسار النسبى من الماء إلى الزجاج.

ب-معامل الانكسار النسبى من الزجاج إلى الماء.

**الحل:**

أ- معامل الانكسار النسبى من الماء إلى الزجاج

$${}_1n_2 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{3}{2}}{\frac{4}{3}} = \frac{9}{8}$$

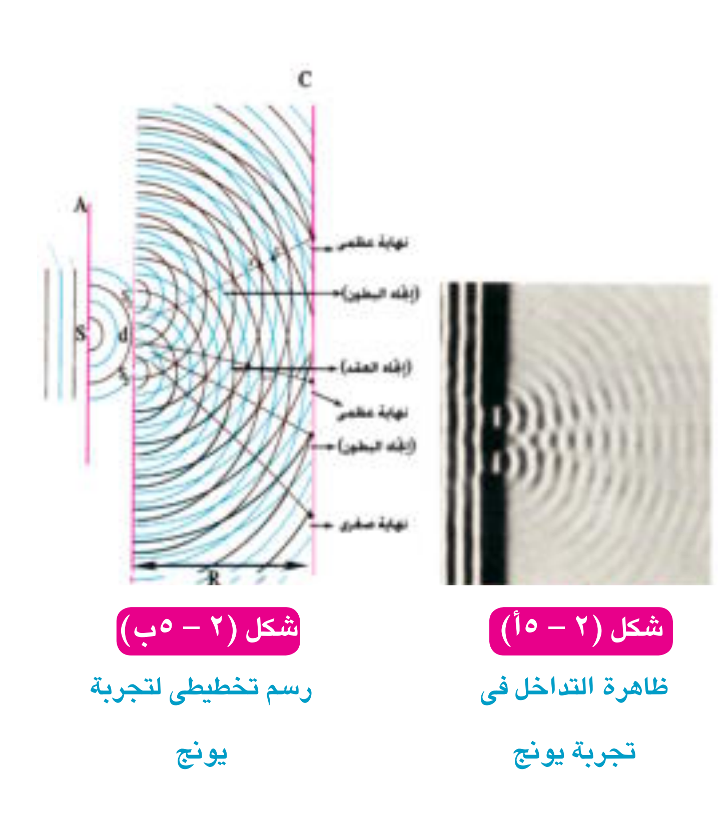
ب-معامل الانكسار النسبى من الزجاج إلى الماء.

$${}_2n_1 = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{4}{3}}{\frac{3}{2}} = \frac{8}{9}$$

ومن هذا المثال نتبين أن: $_1n_2 = \frac{1}{_2n_1}$ ، وهى نتيجة هامة.

## تداخل الضوء *Light Interference*:

أجرى توماس ينج Young تجربة لدراسة ظاهرة التداخل فى الضوء فيما يعرف باسم تجربة الشق المزدوج Double Slit Experiment،وهي موضحة بالشكل (٢-٥). في هذا الشكل مصدر ضوئي أحادى اللون Monochromatic Source اى أن للطول الموجي λ قيمة واحدة ثابتة،يقع على بعد مناسب من حاجز به فتحة مستطيلة ضيقة s تمر خلالها موجات أسطوانية نحو حاجز به فتحتان مستطيلتان ضيقتان $S_2$ , $S_1$، تعملان كشق مزدوج. تقع $S_2$ , $S_1$ على نفس صدر الموجة الأسطوانية. لذلك يكون للموجات التى تصلها نفس الطور.وتسلك الفتحتان المستطيلتان سلوك المصادر المترابطة ، وهى تلك المصادر التي تكون موجاتها متساوية التردد والسعة ولها نفس الطور.




شكل (٢ – ٥أ)
ظاهرة التداخل فى تجربة يونج

شكل (٢ – ٥ب)
رسم تخطيطى لتجربة يونج

وعلى الحائل C تتراكب موجات الحركتين الموجيتين القادمتين إليه من $S_2$ ، $S_1$،ونتيجة لهذا التراكب تظهر مجموعة التداخل التي تبدو كمجموعة من المناطق المستقيمة المتوازية،وهي عبارة عن مناطق مضيئة تتخللها أخرى مظلمة تعرف باسم هدب التداخل Interference Fringes، كما في الشكل (٢-٦). والمسافة بين أي هدبتين متتاليتين Δy من نفس النوع تتعين من العلاقة:

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d} \qquad (2\text{-}5)$$

شكل (٢ – ٦)
هدب التداخل

حيث λ طول موجة الضوء الأحادي اللون المستخدم، R المسافة بين الشق المزدوج والحائل المعد لاستقبال الهدب، و d المسافة بين $S_2$ , $S_1$ . لذلك تستخدم هذه التجربة لتعيين الطول الموجي لأى ضوء أحادي اللون.

**مثال:**

**١–فى تجربة الشق المزدوج كانت المسافة بين الفتحتين المستطيلتين الضيقتين 0.00015 m وكانت المسافة بين الشق والحائل المعد لاستقبال الهدب 0.75 m وكانت المسافة بين هدبتين مضيئتين هى 0.003 m، احسب الطول الموجى للضوء الأحادى اللون المستخدم.**

**الحل:**

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d}$$

$$0.003 = \frac{0.75 \times \lambda}{0.00015}$$

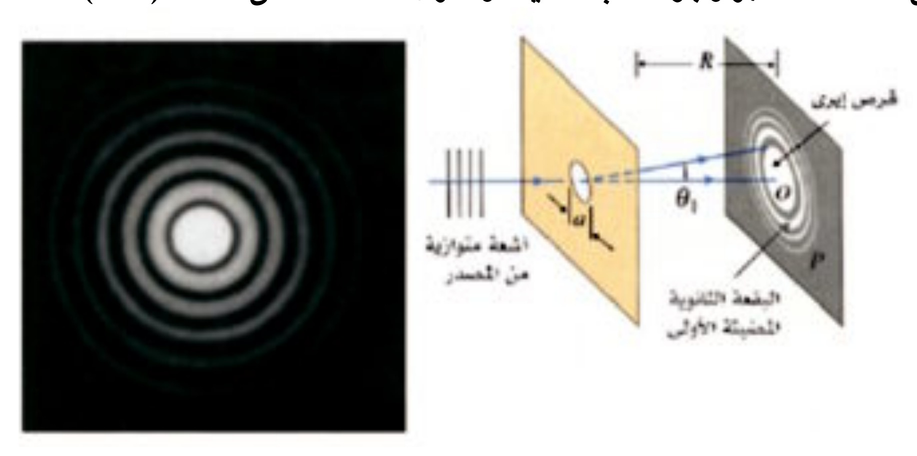
$$\therefore \lambda = \frac{0.00015 \times 0.003}{0.75} = 0.6 \times 10^{-6}\ m$$

$$\lambda = 10^{10} \times 0.6 \times 10^{-6} = 6000\ A^{\circ}$$

## حيود الضوء: *Light Diffraction*

**عندما يسقط ضوء أحادى اللون على فتحة دائرية فى حاجز، فإننا نتوقع تبعًا لمعلوماتنا عن انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة أن تتكون على الحائل الموضح فى الشكل بقعة دائرية مضيئة محددة.**

**لكن دراسة البقعة المضيئة عن قرب وتسمى قرص إيرى Airy Disk –بعبارة أخرى – دراسة توزيع الإضاءة على الحائل – تظهر وجود هدب مضيئة وأخرى مظلمة كما فى الشكل (٢–٧).**




**شكل (٢ – ٧)**

الحيود على فتحة دائرية

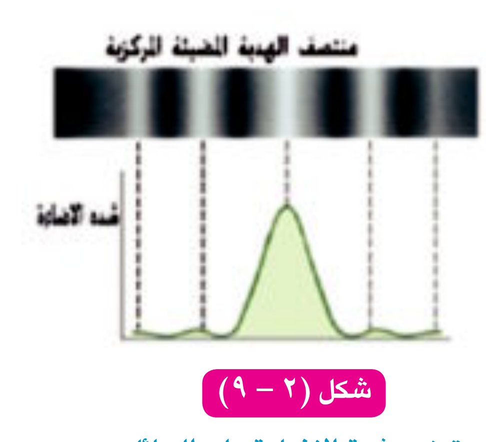
ويوضح الشكل (٢-٨) الحيود علي فتحة مستطيلة بينما يوضح الشكل (٢-٩) نماذج مختلفة للحيود علي حدود فاصلة للمادة.وبصفة عامة يظهر الحيود بوضوح إذا كان الطول الموجي مقارباً لأبعاد فتحة العائق والعكس صحيح.

وجدير بالذكر انه لا يوجد فرق جوهري بين نموذجي التداخل والحيود ، فكل منهما ينشأ من تراكب موجات.




شكل (٢ – ٨)

الحيود على فتحة مستطيلة




شكل (٢ – ٩)

توزيع شدة الإضاءة على الحائل مع تتابع الهدب الناشئة من الحيود على فتحة مستطيلة

## الضوء حركة موجية:

يتضح لنا من الفقرات السابقة أن الضوء:

١- ينتشر فى خطوط مستقيمة.

٢- ينعكس وفقاً لقانونى الانعكاس.

٣- ينكسر وفقاً لقانونى الانكسار.

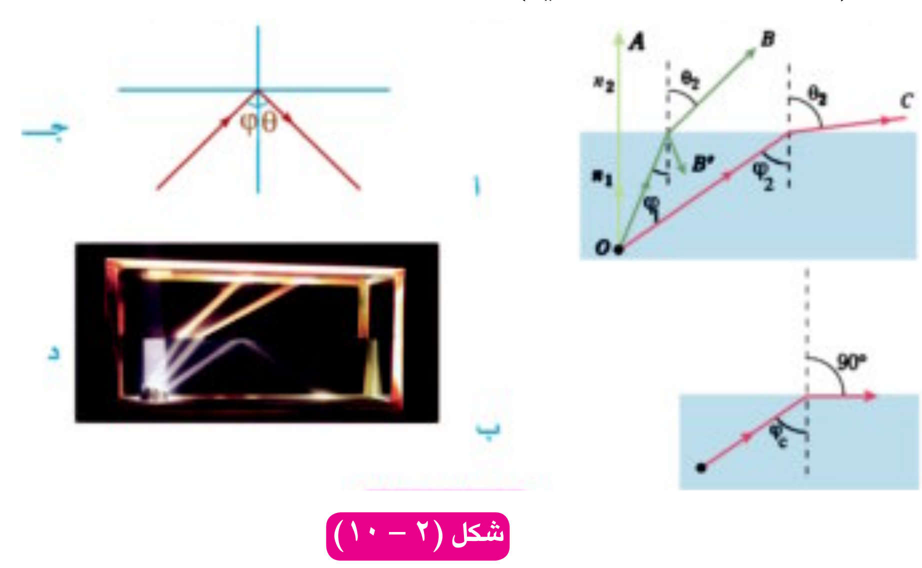
٤- يتداخل الضوء وينشأ عن التداخل تقوية فى شدة الضوء فى بعض المواضع (هدب مضيئة) وانعدام فى شدة الضوء فى بعض المواضع الأخرى (هدب مظلمة).

٥- يحيد الضوء عن مساره إذا اصطدم بعائق.

- وهذه هي نفس الخصائص العامة للموجات، وبالتالي يكون الضوء حركة موجية.

## الإنعكاس الكلي والزاوية الحرجة:

عندما ينتقل شعاع ضوئي من وسط أكبر كثافة ضوئية كالماء (أو الزجاج) إلى وسط أقل كثافة ضوئية كالهواء، فإن الشعاع المنكسر يبتعد عن العمود كما في الشكل التالى (٢-١٠). ومع زيادة قيمة زاوية السقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية (معامل انكسار مطلق كبير) تزداد قيمة زاوية الإنكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية (معامل إنكسار مطلق صغير).




شكل (٢ - ١٠)

سقوط ضوء من وسط أكبر كثافة ضوئية إلى وسط أقل كثافة ضوئية

وعندما تبلغ زاوية السقوط في الوسط الأكبر كثافة ضوئية قيمة معينة $\phi_c$ عندها تبلغ زاوية الإنكسار في الوسط الأقل كثافة اكبر قيمة لها وتساوي 90°. وعندها يخرج الشعاع المنكسر مماساً للسطح الفاصل. وتسمى زاوية السقوط فى هذه الحالة الزاوية الحرجة $\phi_c$ وهى زاوية سقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية تقابلها زاوية انكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية تساوى 90° .

بتطبيق قانون سنل فى هذه الحالة:

$$n_1 \sin \phi_c = n_2 \sin 90^\circ$$

ومنها

$$\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1} = {}_1n_2 \qquad (2\text{-}6)$$

حيث $n_1$ معامل انكسار الوسط الأكبر كثافة ضوئية ، $n_2$ معامل انكسار الوسط الأقل كثافة ضوئية ، $\phi_c$ الزاوية الحرجة.

وعندما يكون الوسط الأقل كثافة ضوئية هو الهواء يكون $n_2 = 1$، وعندئذ تكتب العلاقة السابقة على الصورة :

$$n_1 \sin \phi_c = 1$$

$$n_1 = \frac{1}{\sin \phi_c} \quad (2\text{-}7)$$

حيث $n_1$ معامل الانكسار المطلق للوسط الأكبر كثافة ضوئية

وبذلك يمكن حساب معامل انكسار الوسط بمعرفة الزاوية الحرجة له .

وإذا زادت قيمة زاوية السقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية عن الزاوية الحرجة فإن الشعاع الضوئى لا ينفذ إلى الوسط الثانى الأقل كثافة ضوئية، وإنما ينعكس انعكاسًا كليًّا فى نفس الوسط، على خلاف أى زاوية سقوط أخرى أقل من الزاوية الحرجة ، حيث ينفذ جزء من الضوء وينعكس جزء آخر كما في الصورة الموضحة (شكل ٢ – ١٠ جـ، د )

**امثلة:**

١ – إذا كان معاملا انكسار الزجاج والماء هما 1.6 و 1.33 علي الترتيب، فاحسب الزاوية الحرجة لكل منهما .

**الحل**

فى حالة الزجاج:

$$n_1 = \frac{1}{\sin \phi_c}$$

$$\sin \phi_c = \frac{1}{n_1} = \frac{1}{1.6} = 0.625$$

ومنها: $\phi_c = 38^\circ 41'$

فى حالة الماء:

$$\sin \phi_c = \frac{1}{n_1} = \frac{1}{1.33} = 0.7518$$

ومنها $\phi_c = 48^\circ 45'$

٢ – مستخدمًا البيانات المعطاة فى المثال السابق احسب الزاوية الحرجة للضوء الساقط من الزجاج إلى الماء

الحل

باستخدام قانون سنل

$$n_2 \sin 90^\circ = n_1 \sin \phi_c$$

$$1.33 \times 1 = 1.6 \sin \phi_c$$

$$\sin \phi_c = \frac{1 \times 1.33}{1.6} = 0.8313$$

ومنها

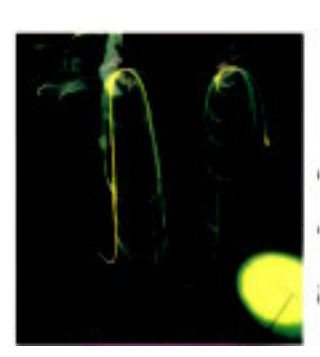
$$\phi_c = 56^\circ\ 14'$$

## بعض تطبيقات الإنعكاس الكلي

### أولاً: الألياف الضوئية (البصرية) *(Optical fibers) Fiber optics*:

ويوضح الشكل (٢–١١) ليفة ضوئية – وهى قضيب مصمت رفيع من مادة شفافة–إذا دخل الضوء من أحد طرفيها فإنه يعانى إنعكاسات كلية متتالية (زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة) حتى يخرج من طرفها الأخر شكل (٢–١٢).

ويوضح الشكل (٢–١٣) حزمة مكونة من الاف الياف معاً تتكون منها حزمة مرنة قابلة للانثناء،بحيث تصل إلي أماكن يصعب الوصول إليها ويمكن استخدامها في نقل الضوء بدون فقد يذكر.

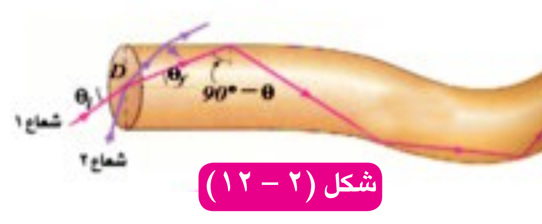


شكل (٢ – ١١)

الألياف تحافظ على الشعاع رغم انثناء الألياف

وتلقي الألياف الضوئية الآن اهتماماً كبيراً.

فالليفة الضوئية أو البصرية تستخدم الأن في الفحوص الطبية مثل المناظير الطبية Endoscopes (شكل ٢–١٣) والتى تستخدم فى التشخيص كما تستخدم فى إجراء العمليات الجراحية باستخدام شعاع الليزر كما يستخدم الليزر فى الإتصالات عن طريق تحويل الإشارات الكهربية إلى ومضات ضوئية فى كابل من الألياف الضوئية.



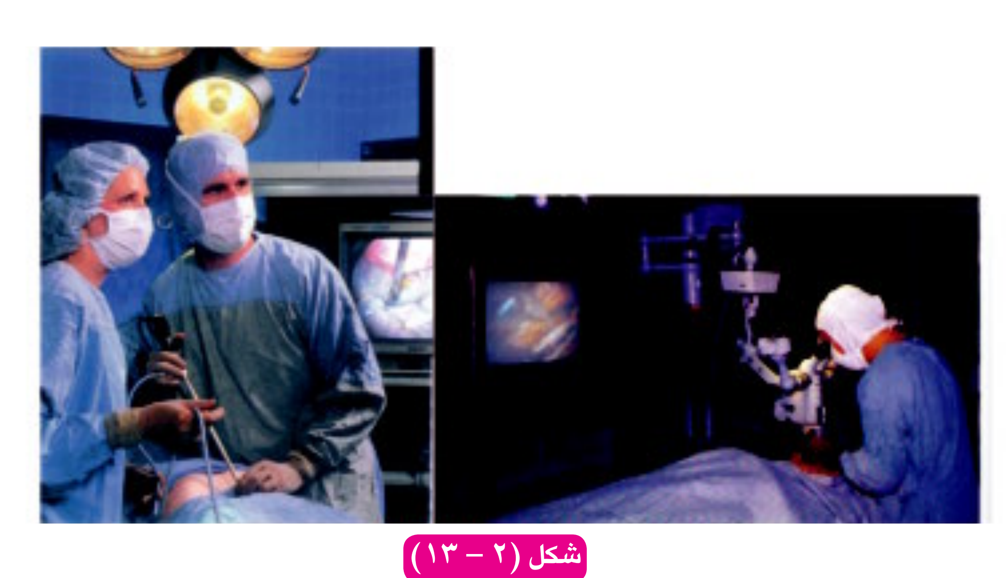

شكل (٢ – ١٢)

ألياف ضوئية




شكل (٢ – ١٣)

ألياف ضوئية



شكل (٢ – ١٣)

إجراء عمليات جراحية باستخدام المناظير الطبية

## كيف تعمل الألياف الضوئية:

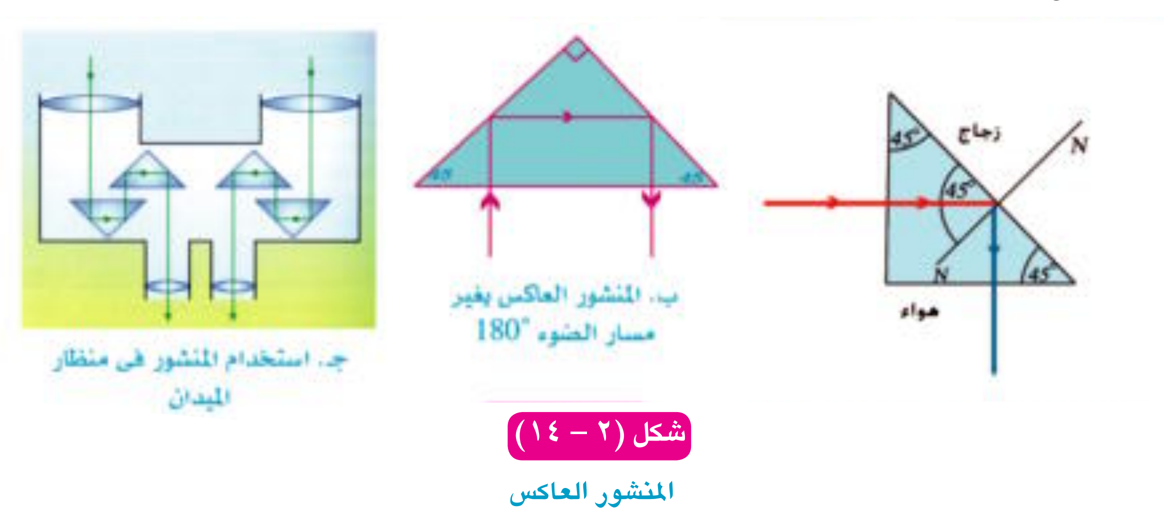
إذا كان لدينا أنبوبة مجوفة،ونظرنا من أحد طرفيها لنرى جسماً مضيئاً فى الطرف الآخر، فإنه يمكن رؤيته.أما إذا حدث انثناء للأنبوبة المجوفة،فلا يمكن رؤية الجسم المضيء.

وفى هذه الحالة كيف يمكن رؤيته؟ إذا وضعنا مرايا عاكسة عند مواضع مسار الشعاع الضوئى فإننا نستطيع فى هذه الحالة رؤية الجسم المضيء. وبالمثل يمكن استخدام الألياف الضوئية عند سقوط شعاع

ضوئي بزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة فإنه يحدث إنعكاسات كلية ليخرج الشعاع بكامل طاقته من الطرف الآخر رغم انثناء هذه الألياف.

## ثانياً:المنشور العاكس:

نظراً لأن الزاوية الحرجة بين زجاج معامل إنكساره المطلق(1،5) والهواء حوالى 42° فإن منشوراً ثلاثياً من الزجاج زواياه (45،45,90) يستخدم فى تغيير مسار حزمة ضوئية بمقدار 90 أو 180.ومثل هذا المنشور يستخدم فى بعض الأجهزة البصرية مثل البيروسكوب Periscope الذى يستخدم فى الغواصات البحرية وفى مناظير الميدان Binoculars شكل (٢-١٤).




شكل (٢ – ١٤)

المنشور العاكس

واستخدام المنشور لهذا الغرض أفضل من إستخدام السطح المعدنى العاكس (أو المرآة).

أولاً:لأن الضوء ينعكس فى المنشور إنعكاساً كلياً. ومن النادر أن يتواجد السطح المعدنى العاكس الذى تبلغ كفائته ١٠٠٪.

ثانياً: يتعرض السطح المعدنى لما يفقده بريقه أو لمعانه، فتقل قابليته لعكس الضوء، ولا يحدث مثل هذا فى المنشور. صحيح أن جزئاً أو نسبة من الضوء تفقد عند دخوله أو خروجه من المنشور ، ولكن يمكن تجنبها بتغطية السطح الذي يدخل منه الضوء أو يخرج منه بغشاء رقيق غير عاكس مثل فلوريد الألومنيوم وفلوريد الماغنيسيوم (معامل انكساره أقل من معامل انكسار الزجاج).

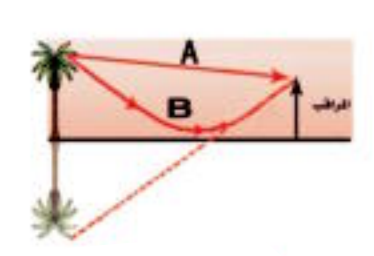
## ثالثاً: السراب:

السراب ظاهرة مألوفة فى الأيام القائظة (شديدة الحرارة) ويمكن رؤيتها صيفاً فى الطرق حيث يبدو الطريق لراكب السيارة كما لو كان مغطى بالماء شكل (٢-١٥أ)، وكما يمكن ملاحظتها فى الصحارى حيث ترى للنخيل أو التلال صورا مقلوبة شبيهة بتلك الصور التى تحدث بالإنعكاس عن سطح الماء، وعندئذ يظن المراقب وجود الماء شكل (٢-١٥ب).



شكل (٢-١٥أ)

الطرق الممهدة تبدو مبللة




شكل (٢-١٥ب)

انعكاس السماء فى الصحراء يوحى بوجود ماء

وتفسر هذه الظاهرة كما يلى:

فى الأيام الشديدة الحرارة ترتفع درجة حرارة الطبقات الهوائية الملاصقة لسطح الأرض فتقل كثافتها عن كثافة الطبقات التى تعلوها. ويترتب على ذلك أن تكون معاملات انكسار طبقات الهواء العليا أكبر من تلك التى تحتها. لذلك إذا تتبعنا شعاعاً ضوئياً صادراً من قمة نخلة مثلاً فإن هذا الشعاع عند انتقاله من الطبقة العليا إلى الطبقة التى تقع تحتها ينكسر مبتعدًا عن العمود.

وعند إنتقاله من هذه الطبقة إلى التى تليها يزداد انحرافه. وهكذا يزداد انحراف الشعاع أثناء انتقاله خلال طبقات الهواء المتتالية. متخذا مسارًا منحنيًا، وعندما تصبح زاوية سقوطه فى إحدى الطبقات أكبر من الزاوية الحرجة بالنسبة للطبقة التى تحتها، فإن الشعاع الضوئى ينعكس انعكاسًا كليًا، متخذًا مسارًا منحنيًا إلى أعلى حتى يصل إلى العين التى ترى صورة قمة النخلة على امتداد الشعاع الذى يصلها ، وهذا يفسر رؤية صورتها مقلوبة (شكل ٢-١٥ب) فيظن المراقب أن هناك ماء.

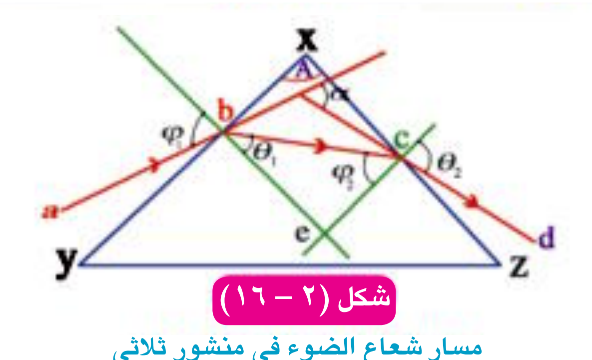
## إنحراف الضوء في المنشور الثلاثي:

عندما يسقط شعاع ضوئي مثل الشعاع (ab) على الوجه (XY) لمنشور ثلاثى فإن هذا الشعاع ينكسر داخل المنشور متخذًا المسار (bc) حتى يسقط على الوجه (XZ) كما فى الشكل (٢-١٦) فيخرج إلى الوسط الأول فى الاتجاه (cd).

ومن هذا الشكل نتبين أن الشعاع الضوئي فى المنشور الثلاثى ينكسر مرتين، إحداهما عند الوجه الأول (XY) والأخرى عند الوجه الثانى (XZ) ونتيجة لذلك ينحرف الشعاع عن مساره بزاوية معينة هي زاوية الإنحراف $\alpha$.

**زاوية الانحراف Deviation Angle :** هي الزاوية الحادة المحصورة بين امتدادى الشعاع الساقط والشعاع الخارج ويرمز لها هنا بالرمز $\alpha$.

وإذا كانت زاوية السقوط هى $\varphi_1$ وزاوية الانكسار عند الوجه الأول هى $\theta_1$ وزاوية السقوط على الوجه الثانى هى $\varphi_2$ وزاوية الخروج هى $\theta_2$ وزاوية رأس المنشور A ، فإننا نتبين من هندسة الشكل ٢-١٦ ما يلى:




شكل (٢ - ١٦)

مسار شعاع الضوء فى منشور ثلاثى

$$\alpha = (\phi_1 - \theta_1) + (\theta_2 - \phi_2)$$

$$\alpha = (\phi_1 + \theta_2) - (\theta_1 + \phi_2)$$

حيث أن مجموع زوايا الشكل الرباعى bxce هو $2\pi$ والزاويتين b و c قائمتان فإن الزاوية e هى (180-A)

وفى المثلث bce مجموع الزوايا $180^o$ وعلى ذلك فإن :

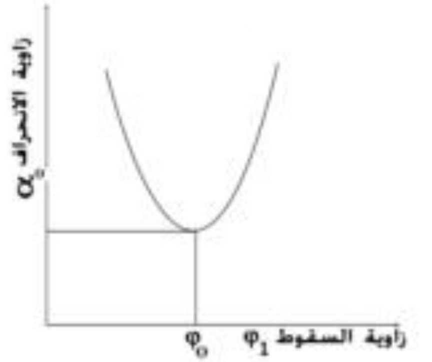
$$\theta_1 + \phi_2 = 180^\circ - (180^\circ - A^\circ) = A^\circ \qquad (2\text{-}8)$$

وبالتعويض من المعادلة (3-8) نجد أن :

$$\alpha = \phi_1 + \theta_2 - A^\circ \qquad (2\text{-}9)$$

ومن هذه العلاقة نتبين أن زاوية الانحراف فى منشور ثلاثى زاوية رأسه $A^o$ تتوقف علي زاوية السقوط $\phi_1$.

ويمكن عمليا بيان أن زاوية الانحراف تتناقص تدريجيا مع ازدياد زاوية السقوط حتى تصل زاوية الانحراف إلى حد معين يعرف بالنهاية الصغرى للإنحراف ، بعده تأخذ زاوية الانحراف فى الازدياد تدريجيا مع ازدياد زاوية السقوط كما فى الشكل (٢ – ١٧)




شكل (٢ – ١٧)

زاوية الانحراف لها نهاية صغرى

وفى وضع النهاية الصغرى للانحراف يمكن عمليا ونظريا

اثبات أن:

$$\phi_1 = \theta_2 = \phi_o$$

$$\theta_1 = \phi_2 = \theta_o$$

وتصبح العلاقتان (2-8) و (2-9) كما يلي

$$A = 2\,\theta_o$$

ومنها

$$\theta_o = \frac{A}{2}$$

ومنها

$$\alpha_o = 2\phi_o - A$$

$$\phi_o = \frac{\alpha_o + A}{2}$$

ولكن

$$n = \frac{\sin\phi}{\sin\theta}$$

بالتعويض عن $\phi$، $\theta$ نجد أن معامل الانكسار للمنشور فى وضع النهاية الصغرى للانحراف يتعين من العلاقة:

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} \qquad (2\text{-}10)$$

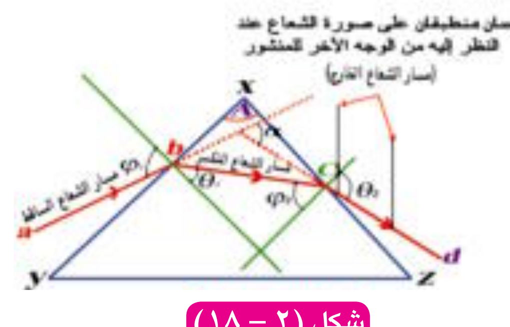
## تجربة عملية : تعيين مسار شعاع ضوئى خلال منشور زجاجى واستنتاج قوانين المنشور

**الأدوات المطلوبة:**

منشور من الزجاج زاوية رأسه $60^o$ – دبابيس – منقلة – مسطرة.

**خطوات العمل :**

١ – ضع المنشور على ورقة بيضاء وحدد قاعدته المثلثة – ثم ابعد المنشور وارسم خطًّا (ab) مائلًا على أحد وجهى المنشور يمثل شعاعًا ساقطًا بزاوية سقوط معينة. ضع المنشور فى موضعه ، ثم انظر من الجانب المقابل ، وحدد موضع الشعاع الخارج (cd) بالاستعانة بالدبابيس ، أو بوضع مسطرة والنظر بحيث تصبح حافة المسطرة على امتداد صورة الشعاع الساقط (ab)ثم ارسم خطًّا (cd) فى محاذاة حافة المسطرة، تجد أن هذا الخط يقع على امتداد صورة الخط الأول .



شكل (٢ – ١٨)

مسار شعاع الضوء في منشور ثلاثي

٢ – ارفع المنشور ثم صل (bc) فيكون مسار الشعاع الضوئى هو (abcd) من الهواء إلى الزجاج إلى الهواء ثانية.

٣ – مد الشعاع الخارج (cd) على استقامته حتى يقابل امتداد الشعاع الساقط (ab) فتكون الزاوية المحصورة بينهما هى زاوية الانحراف $\alpha$ (شكل ٢–١٨)

٤ – قس كلا من زاوية السقوط $\phi_1$ ، وزاوية الانكسار $\theta_1$ ، وزاوية السقوط الداخلية $\phi_2$ ، وزاوية الخروج $\theta_2$ ، وزاوية الانحراف $\alpha$

٥ – كرر العمل السابق عدة مرات بتغيير زاوية السقوط وضع النتائج فى جدول

| زاوية رأس المنشور A | زاوية السقوط $\phi_1$ | زاوية الانكسار $\theta_1$ | زاوية السقوط الداخلية $\phi_2$ | زاوية الخروج $\theta_2$ | زاوية الانحراف $\alpha$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

استخدم المعادلتين (8-2) و (9-2) لحساب قيمتى $\alpha$، A ، وطابق النتائج بالقيم المقاسه عمليًّا.

## تفريق الضوء بواسطة المنشور الثلاثى *Dispersion*

استنتجنا فى الفقرة السابقة إنه فى وضع النهاية الصغرى للانحراف يتعين معامل انكسار مادة المنشور من العلاقة :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

حيث n معامل الانكسار لمادة المنشور، $\alpha_0$ هى النهاية الصغرى للإنحراف ، A زاوية رأس المنشور.

ونظرًا لأن زاوية رأس المنشور ثابتة فإننا نتبين أن تغير معامل الانكسار يتبعه تغير فى قيمة زاوية النهاية الصغرى للانحراف فبزيادة معامل الانكسار تزداد قيمة النهاية الصغرى للانحراف والعكس صحيح.

ونظرًا لأن معامل الانكسار n يتوقف على الطول الموجى للضوء المار من خلال المنشور، فإن زاوية النهاية الصغرى للانحراف تتوقف بدورها على الطول الموجى .

لذلك إذا سقطت حزمة ضوء أبيض على منشور ثلاثى مهيأ فى وضع النهاية الصغرى للانحراف فإن الضوء الخارج من المنشور يتفرق إلى ألوان الطيف المعروفة كما في الشكل (٢ – ١٩)



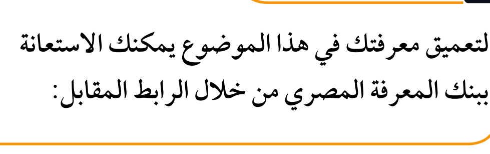
شكل (٢ – ١٩)

المنشور يفرق ألوان الطيف

ومن الشكل نتبين أن أشعة الضوء البنفسجى تكون أكثر الأشعة انحرافًا (معامل انكسارها أكبر)، وأن أشعة الضوء الأحمر تكون أقل الأشعة انحرافًا (معامل انكسارها أصغر) .

وألوان الطيف المرئى التى يتفرق إليها الضوء الأبيض هى بالترتيب ( من جهة رأس المنشور إلى قاعدته ) :

الأحمر – البرتقالى – الأصفر – الأخضر – الأزرق – النيلى – البنفسجى.



**تعميق المعرفة**

لتعميق معرفتك في هذا الموضوع يمكنك الاستعانة ببنك المعرفة المصري من خلال الرابط المقابل:



## المنشور الرقيق:

هو عبارة عن منشور ثلاثى من الزجاج مثلاً، زاوية رأسه صغيرة لا تتجاوز عدة درجات ويكون دائمًا في وضع النهاية الصغرى للانحراف. أى أن معامل انكسار مادة المنشور يحسب من العلاقة :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

ونظرًا لأن $\left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right)$ وكذلك $\left(\frac{A}{2}\right)$ هى زوايا صغيرة ، يكون جيب الزاوية مساويًا لقيمة الزاوية بالتقدير الدائرى . وعلى ذلك يكون:

$$\sin\left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right) \cong \left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right)$$

وكذلك

$$\sin\left(\frac{A}{2}\right) \cong \frac{A}{2}$$

وبالتعويض عنهما فى العلاقة السابقة نجد أن معامل انكسار مادة المنشور الرقيق يتعين من العلاقة الآتية:

$$n = \frac{\alpha_0 + A}{A} \qquad (2\text{-}11)$$

$$\alpha_0 = A(n-1) \qquad (2\text{-}12)$$

## قوة التفريق اللونى *Dispersive Power*

عند سقوط ضوء أبيض على منشور ثلاثى يتفرق هذا الضوء إلى ألوان الطيف المعروفة ويرجع هذا إلى اختلاف معاملات الإنكسار تبعًا لاختلاف أطوالها الموجية

$$(\alpha_0)_r = A(n_r - 1)$$

$$(\alpha_0)_b = A(n_b - 1)$$

حيث A زاوية رأس المنشور الرقيق ، $n_r$ معامل انكسار مادته للضوء الأحمر ، $n_b$ معامل انكسار مادته للضوء الأزرق.

بالطرح نجد أن

$$(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r = A(n_b - n_r) \qquad (2\text{-}13)$$

يمثل الطرف الأيسر ما نسميه بالانفراج الزاوى بين الشعاعين الأزرق والأحمر ، وبالنسبة للضوء الأصفر (الذى يتوسط اللونين الأحمر والأزرق) تكون زاوية انحرافه فى المنشور الرقيق هى:

$$(\alpha_o)_y = A(n_y - 1) \qquad (2\text{-}14)$$

حيث $n_y$ معامل انكسار مادة المنشور للضوء الأصفر فإذا كانت $(\alpha_o)_y$ متوسط $(\alpha_o)_r$ ، $(\alpha_o)_b$

فإن $n_y$ متوسط $n_r$ ، $n_b$

وبالقسمة نجد أن

$$\omega_\alpha = \frac{(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r}{(\alpha_o)_y} = \frac{n_b - n_r}{n_y - 1} \qquad (2\text{-}15)$$

وتسمى $\omega_\alpha$ قوة التفريق اللونى Dispresive Power وهى كما نرى لا تتوقف على زاوية رأس المنشور.

**تلخيص:**

- **قانونا انعكاس الضوء:**

**(١) زاوية السقوط = زاوية الإنعكاس.**

**(٢) الشعاع الضوئى الساقط، والشعاع الضوئى المنعكس، والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس تقع جميعها في مستوى واحد عمودى على السطح العاكس.**

- **يغير الضوء من اتجاه انتشاره عند انتقاله من وسط إلى وسط آخر بسبب اختلاف سرعة الضوء فى الوسط الثانى $v_2$ عن سرعته فى الوسط الأول $v_1$ .ويخضع الضوء فى انكساره لما يلى:**

**(١) نسبة جيب زاوية السقوط فى الوسط الأول إلى جيب زاوية فى الوسط الثانى نسبة ثابتة لهذين الوسطين، تسمى معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول إلى الوسط الثانى، ويرمز لها بالرمز $_1n_2$**

$$_1n_2 = \frac{\sin\phi}{\sin\theta}$$

**حيث $\phi$ زاوية السقوط فى الوسط الأول ، $\theta$ زاوية الانكسار فى الوسط الثانى**

**(٢) الشعاع الضوئى الساقط والشعاع الضوئى المنكسر والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل تقع جميعها فى مستوى واحد عمودى على السطح الفاصل.**

- **معامل الانكسار من الوسط الأول إلى الوسط الثانى هو نسبة سرعة الضوء $v_1$ فى الوسط الأول إلى سرعة الضوء $v_2$ فى الوسط الثانى أى أن:**

$$_1n_2 = \frac{v_1}{v_2}$$

**وهذه صورة أخرى لمعامل النسبى بين وسطين.**

- **معامل الانكسار المطلق لوسط هو** $n = \frac{c}{v}$

**أى هو نسبة سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعة الضوء فى الوسط.**

- **قانون سنل للضوء ينص على : حاصل ضرب معامل الإنكسار المطلق لوسط السقوط فى جيب زاوية السقوط يساوى معامل الإنكسار المطلق لوسط الإنكسار فى جيب زاوية الإنكسار.**

$$n_1\sin\phi = n_2\sin\theta$$

- فى تجربة ينج تتعين المسافة بين أى هدبتين متتاليتين من نفس النوع (مضيئتين أو مظلمتين) من العلاقة :

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d}$$

حيث $\lambda$ طول موجة الضوء المستخدم ، $R$ المسافة بين الحائل المعد لاستقبال الهدب والحاجز ذى الشق المزدوج، $d$ المسافة بين الشقين.

- الضوء حركة موجية .
- الزاوية الحرجة : هى زاوية سقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية تقابلها زاوية انكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية مقدارها $90°$
- معامل الانكسار المطلق لوسط يساوى مقلوب جيب الزاوية الحرجة له عند انتقال الضوء من هذا الوسط إلى الهواء أو الفراغ.

$$n = \frac{1}{\sin \phi_c}$$

- الانعكاس الكلى : عندما تكون زاوية سقوط الضوء فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية أكبر من الزاوية الحرجة، فإن الضوء لا ينفذ إلى الوسط الأقل كثافة ضوئية وإنما ينعكس عند السطح الفاصل انعكاسا كليًا.
- السراب ظاهرة تنتج عن الانعكاس الكلى.
- زاوية رأس المنشور الثلاثى $A = \theta_1 + \phi_2$
- زاوية الانحراف $\alpha$ هى الزاوية الحادة المحصورة بين امتدادى الشعاعين الساقط والخارج وتتعين من العلاقة:

$$\alpha = (\phi_1 + \theta_2) - A$$

حيث $\varphi_1$ زاوية السقوط ، $\theta_2$ زاوية الخروج ، $A$ زاوية رأس المنشور.

- فى وضع النهاية الصغرى للانحراف يكون :

$$\phi_1 = \theta_2 = \phi_0$$
$$\theta_1 = \phi_2 = \theta_0$$

يتعين معامل انكسار مادة المنشور من العلاقة :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

حيث n معامل الانكسار، $\alpha_1$ زاوية الانحراف فى وضع النهاية الصغرى ، A زاوية رأس المنشور.

- يتعين الانحراف فى المنشور الرقيق من العلاقة :

$$\alpha_o = A\,(n - 1)$$

- الانفراج الزاوى فى المنشور الرقيق يحسب من ناتج الطرح:

$$(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r$$

حيث $(\alpha_o)_b$ زاوية انحراف الأشعة الزرقاء، $(\alpha_o)_r$ زاوية انحراف الأشعة الحمراء

- قوة التفريق اللونى $(\omega)_\alpha$ هى:

$$\omega_\alpha = \frac{(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r}{(\alpha_o)_y}$$

$$\omega_\alpha = \frac{n_b - n_r}{n_y - 1}$$

حيث $n_b$ هى معامل انكسار مادة المنشور للون الأزرق.

$n_r$ معامل انكسار مادة المنشور للون الأحمر.

$n_y$ معامل انكسار مادة المنشور للون الأصفر.

## أسئلة وتمارين:

### أولًا – أسئلة المقال

١- وضح لماذا يمكن القول بأن الضوء حركة موجية.

٢- اشرح تجربة توضح بها ظاهرة التداخل فى الضوء.

٣- فسر ظاهرة تكون السراب.

### ثانيًا – عرف كلًا من :

معامل الانكسار النسبى بين وسطين – معامل الانكسار المطلق لوسط – الزاوية الحرجة – زاوية الانحراف.

### ثالثًا – أكمل العبارات التالية :

( أ ) تتعين المسافة بين هدبتين متتاليتين من نفس النوع من العلاقة ..............................................

(ب) قانون سنل هو ..............................................

(جـ) الانفراج الزاوى فى منشور رقيق يتعين من العلاقة ..............................................

( د ) قوة تفريق مادة هى ..............................................

### رابعًا – ضع علامة (✔) أمام الاختيار الصحيح

(١) عندما ينعكس الضوء تكون :

( أ ) زاوية السقوط أقل من زاوية الانعكاس (ب) زاوية السقوط أكبر من زاوية الانعكاس

(جـ) زاوية السقوط = زاوية الانعكاس ( د ) لا توجد أجابة صحيحة.

(٢) عندما ينكسر الضوء تكون النسبة $\frac{\sin \phi}{\sin \theta}$ (حيث $\phi$ زاوية السقوط، $\theta$ زاوية الانكسار).

( أ ) نسبة ثابتة للوسطين (ب) غير ثابتة لهذين الوسطين.

(جـ) مقدار ثابت أكبر من الواحد الصحيح دائما. ( د ) مقدار ثابت أقل من الواحد الصحيح دائما.

(٣) نسبة جيب زاوية السقوط فى الوسط الأول الى جيب زاوية الانكسار فى الوسط الثانى تسمى:

( أ ) معامل الانكسار المطلق للوسط الأول.

(ب) معامل الانكسار المطلق للوسط الثانى.

(جـ) معامل الانكسار النسبى من الوسط الثانى إلى الوسط الأول.

( د ) معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول إلى الوسط الثانى.

(٤) معامل الانكسار $_1n_2$ يساوى:

( أ ) $\frac{n_2}{n_1}$ (ب) $\frac{n_1}{n_2}$

(جـ) $n_1n_2$ ( د ) $\frac{\sin\phi_2}{\sin\theta_1}$

(٥) يتعين معامل انكسار مادة منشور ثلاثى فى وضع النهاية الصغرى للانحراف من:

(أ) $n = \frac{\sin \alpha_0}{\sin A}$ (ب) $n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\alpha_0}{2}\right)}$

(جـ) $n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$ (د) $n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right)}{\sin A}$

(٦) يتعين الإنحراف فى المنشور الرقيق من العلاقة :

(أ) $\alpha_0 = n(A - 1)$ (ب) $n = A(\alpha_0 - 1)$ (جـ) $\alpha_0 = A(n + 1) =$

(د) $\alpha_0 = A(n - 1)$

(٧) شعاع ضوئى يسقط على سطح يفصل بين وسطين فإذا كانت زاوية السقوط 60° وزاوية الانكسار 30° فإن معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول الى الوسط الثانى هو:

(أ) $\sqrt{3}$ (ب) $\frac{1}{2}$ (جـ) $\sqrt{2}$ (د) 2

(٨) شعاع ضوئى يسقط بزاوية 48.5° على أحد أوجه متوازى مستطيلات من الزجاج ومعامل انكسار مادته 1.5 فتكون زاوية انكساره هى:

( أ ) 20° (ب) 30°

(جـ) 35° ( د ) 40°

(٩) فى تجربة لتعيين النهاية الصغرى للانحراف فى المنشور الثلاثى وجد أن هذه الزاوية تساوى 48.2° فإذا كانت زاوية رأس المنشور 58.8° فإن معامل انكسار مادته هو:

( أ ) 1.5 (ب) 1.63

(جـ) 1.82 ( د ) 1.85

(١٠) إذا كانت الزاوية الحرجة لوسط بالنسبة للهواء هو $45°$ فإن معامل انكسار هذا الوسط هو:

( أ ) 1.64 (ب) 2

(جـ) 1.7 ( د ) $\sqrt{2}$

(١١) منشور رقيق من الزجاج رأسه $5°$ ومعامل انكسار مادته 1.6 تكون زاوية انحراف الضوء فيه هى:

( أ ) $5°$ (ب) $6°$

(جـ) $8°$ ( د ) $3°$

(١٢) منشور رقيق يحرف الأشعة الضوئية الساقطة عليه بمقدار $4°$ فإذا كانت زاوية رأسه $8°$ فإن معامل انكسار مادته هو :

( أ ) 1.5 (ب) 1.4

(جـ) 1.33 ( د ) 1.6



# الوحدة الثانية

## الموائـــع

الفصل الثالث : خواص الموائع الساكنة

الفصل الرابع : خواص الموائع المتحركة

# الوحدة الثانية

# خواص الموائع



## الفصل الثالث: خواص الموائع الساكنة

## الوحدة الثانية — المـوائــع

## الفصل الثالث — خواص الموائع الساكنة

### المقدمة:

إن الموانع هي المواد التى تتميز بقدرتها على الإنسياب، وبالتالى تشتمل الموائع على المواد السائلة والغازية. فى حين أن الغازات تتميز عن السوائل فى قابليتها بسهولة للإنضغاط، بينما تقاوم السوائل أى ضغط عليها تقريباً، وعلى ذلك تتميز السوائل بالحركة الإنسيابية غير القابلة للإنضغاط *Incompressible* .كما أن للسوائل حجم معين فى حين أن الغازات تشغل أى حيز توجد فيه.

### الكثافة *Density*:

هي خاصية أساسية لأى مادة، ويرمز لها بالرمز ρ وتعرف بكتلة وحدة الحجوم، ووحدتها فى النظام الدولى هى $kg/m^3$.

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (3-1)$$

يعزى التغير فى الكثافة من عنصر لأخر لما يلى:

١– التغير فى الوزن الذرى.

٢– الإختلاف فى المسافة البينية بين الذرات أو الجزيئات.

وقد سبق لنا معرفة أن الأجسام ذات الكثافة الصغيرة تطفو فوق السوائل ذات الكثافة الأكبر.

ويوضح الجدول التالى أمثلة لكثافة بعض المواد الشائعة.

| المادة | الكثافة $kg/m^3$ | المادة | الكثافة $kg/m^3$ |
|---|---|---|---|
| **الجوامد :** | | الكيروسين | 820 |
| الومنيوم | 2700 | الزئبق | 13600 |
| النحاس الأصفر | 8600 | الجليسرين | 1260 |
| النحاس الأحمر | 8890 | الماء | 1000 |
| الزجاج العادى | 2600 | | |
| الذهب | 19300 | **الغازات :** | |
| الجليد (الثلج) | 910 | الهواء | 1.29 |
| الحديد | 7900 | غاز النشادر | 0.76 |
| الرصاص | 11400 | ثانى اكسيد الكربون | 1.96 |
| البلاتين | 21400 | اول اكسيد الكربون | 1.25 |
| الصلب | 7830 | الهليوم | 0.18 |
| السكر | 1600 | الهيدروجين | 0.090 |
| الشمع | 1800 | النتروجين | 1.25 |
| | | الأكسجين | 1.43 |
| **السوائل :** | | | |
| الكحول الإيثيلى | 790 | | |
| البنزين | 900 | | |
| الدم | 1040 | | |
| الجازولين | 690 | | |

ويطلق على نسبة كثافة مادة ما إلى كثافة الماء فى نفس درجة الحرارة اسم الكثافة النسبية للمادة.

$$\text{فالكثافة النسبية لمادة} = \frac{\text{كثافة المادة فى درجة حرارة معينة}}{\text{كثافة الماء فى نفس درجة الحرارة}} \qquad (3-2)$$

## وبصفة عامة:

$$\text{الكثافة النسبية لمادة} = \frac{\text{كتلة حجم معين من المادة فى درجة حرارة معينة}}{\text{كتلة نفس الحجم من الماء فى نفس درجة الحرارة}}$$

ونظراً لان الكثافة النسبية لمادة هي نسبة بين كميتين متماثلين لهذا لا يكون للكثافة النسبية للمادة وحدات قياس.

### تطبيقات الكثافة:

١– قياس الكثافة له أهمية كبرى، حيث تعتبر من إحدى التقنيات التحليلية، حيث إنها تستخدم فى قياس كثافة المحلول الإلكتروليتى ببطارية السيارة. فعندما تفرغ الشحنة الكهربية من البطارية تقل كثافة المحلول الإلكتروليتى (حمض كبريتيك مخفف) نتيجة استهلاك حمض الكبريتيك فى تفاعله مع ألواح الرصاص وتكوين كبريتات الرصاص،وعند إعادة شحن البطارية تتحرر أيونات الكبريتات من ألواح الرصاص وتعود للمحلول مرة أخرى، فتزداد الكثافة وبذلك يمكن من قياس الكثافة الاستدلال على مدى شحن البطارية.

٢- تستخدم أيضاً تطبيقات الكثافة فى العلوم الطبية لقياس كثافة الدم والبول.

فكثافة الدم وهو فى الحالة الطبيعية ما بين $1040kg/m^3$ إلى $1060kg/m^3$، فإذا زادت كثافته دل ذلك على أن تركيز خلايا الدم زاد ، وإذا نقص عن ذلك دل ذلك على نقص تركيز خلايا الدم وهذا يشير إلى مرض فقر الدم (الأنيميا).

والكثافة المعتادة للبول هي $1020kg/m^3$ وبعض الأمراض تؤدى إلى زيادة إفراز الأملاح، هذا يؤدي إلى زيادة مقابلة فى كثافة البول.

## الضغط *Pressure*:

يعرف الضغط عند نقطة: بالقوة المتوسطة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة.

لذلك إذا أثرت قوة (F) عموديا على سطح مساحتة (A) فإن الضغط (P) المؤثر على هذا السطح يتعين من العلاقة:

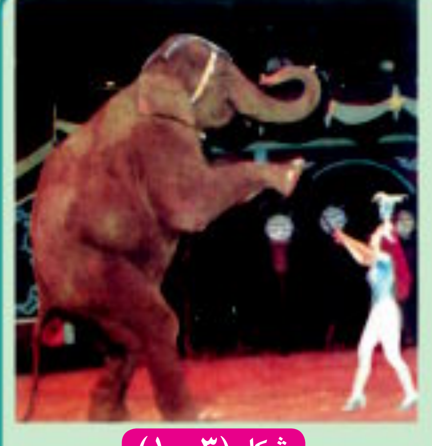
$$P = \frac{F}{A} \qquad (3-3)$$

ونظرا لأن القوة (F) مقدرة بالنيوتن والمساحة (A) مقدرة بالمتر المربع، فإن الوحدة التى يقاس بها الضغط هى نيوتن/ متر مربع ($N/m^2$).

### معلومة إثرائية

**ضغط قدم الفيل أم قدم الإنسان؟**

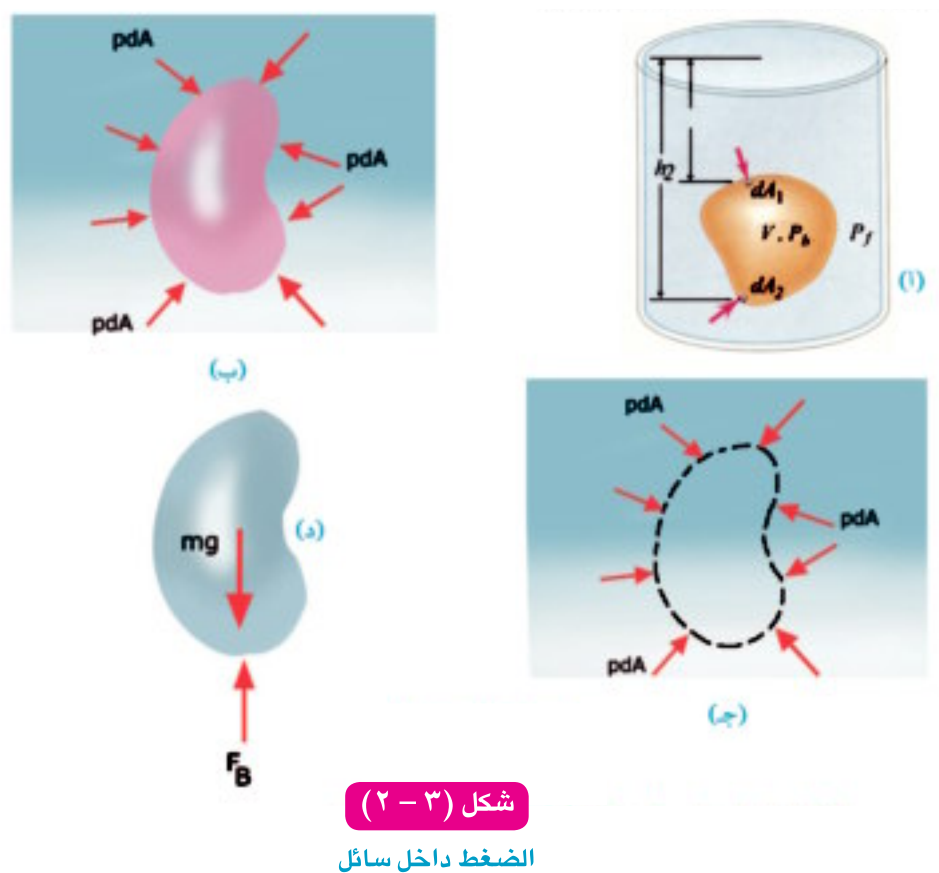
لأن الضغط هو القوة على وحدة المساحة. فإن الضغط نتيجة كعب مدبب أكبر من الضغط الذى يؤثر به قدم الفيل على الأرض، لأن مساحة الكعب المدبب صغيرة للغاية (شكل ٣-١).



شكل (٣ - ١)
مفهوم الضغط

## الضغط عند نقطة فى باطن سائل وقياسه:

إذا دفعت قطعة من الفلين تحت سطح الماء ثم تركتها،ستجد أن قطعة الفلين ترتفع إلى سطح الماء مرة ثانية، وهذا يوضح أن الماء يدفع قطعة الفلين المغمورة بقوة إلى أعلى، هذه القوة تنشأ عن فرق ضغط الماء على هذه القطعة.

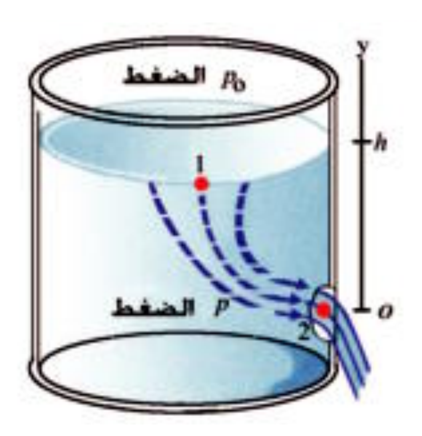


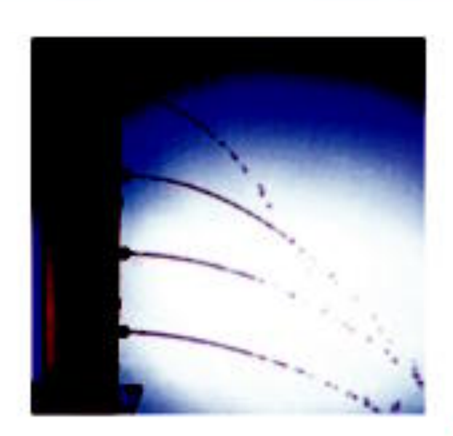

شكل (٣ – ٢)

الضغط داخل سائل

القوة الناشئة عن الضغط داخل سائل تكون عمودية على أى سطح

وعند أى نقطة فى باطن سائل، يمكن أن يؤثر الضغط فى أى اتجاه، واتجاه القوة الناشئة عن الضغط على سطح معين تكون عمودية على السطح. ويكون الضغط على جسم ما هو نفسه الضغط على حجم من السائل لو لم يوضع الجسم مكانه. أى أن السائل الذى كان يشغل مكان الجسم تؤثر عليه قوتان، وزنه لأسفل والقوة الناشئة عن ضغط السائل المحيط به، وكلما زاد عمق السائل زاد الضغط (شكل ٣–٣).



شكل (٣ – ٣)

كلما زاد عمق السائل زاد الضغط

ولحساب الضغط (P) نفترض وجود لوح أفقي مساحته $(A)m^2$ على عمق $(h)m$ تحت سطح سائل كثافته $\rho(kg/m^3)$ كما فى الشكل (٣–٤)، ويعمل هذا اللوح كقاعدة لعمود من السائل.

يمكننا أن ندرك أن القوة التى يؤثر بها السائل على اللوح (X) تساوي وزن عمود من السائل إرتفاعه (h) ومساحة مقطعه (A)،لأن السائل غير قابل للإنضغاط Incompressible، فإن القوة الناتجة عن ضغط السائل لابد أن تتزن مع وزن عمود السائل الذى ارتفاعه (h).

وحيث أن حجم هذا السائل يساوي Ah ، وكتلة السائل تساوى $Ah\rho$، فإن وزن السائل $F_g$ نيوتن يتعين من العلاقة.

$$F_g = Ah\rho g$$

حيث $g(m/s^2)$ هى عجلة الجاذبية:

عندئذ يتعين ضغط السائل P على اللوح (X) من العلاقة:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{Ah\rho g}{A}$$

$$\therefore P = h\rho g \ N/m^2 \qquad (3-4)$$

شكل (٣ – ٤)

حساب ضغط عمود من السائل

وهذه هى قيمة الضغط الذى يؤثر به السائل وحده عند نقطة فى باطنه على عمق h،

وإذا أخذنا فى الاعتبار أن سطح السائل الخالص يتعرض للضغط الجوى، $P_a$ فإن الضغط الكلى عند نقطة فى باطن سائل تتعين من العلاقة:

$$P = P_a + h\rho g \qquad (3-5)$$

وتوضح المشاهدات أن ضغط السائل P عند نقطة فى باطنه يزداد بزيادة عمق هذه النقطة (h) تحت سطح نفس السائل كما يزداد الضغط بزيادة كثافة السائل عند نفس العمق.

ومن هذه العلاقة يمكن أن نتبين ما يلى:

١- جميع النقط التى تقع فى مستوى أفقى واحد فى باطن السائل يكون لها نفس الضغط.

٢- السائل الذى يملأ إناء متعدد الأجزاء (الأواني المستطرقة) Connecting Vessels يرتفع فى هذه الأجزاء بنفس المقدار، بغض النظر عن الأشكال الهندسية لها بشرط أن تكون قاعدة الإناء فى مستوي أفقي، (شكل ٣-٥).

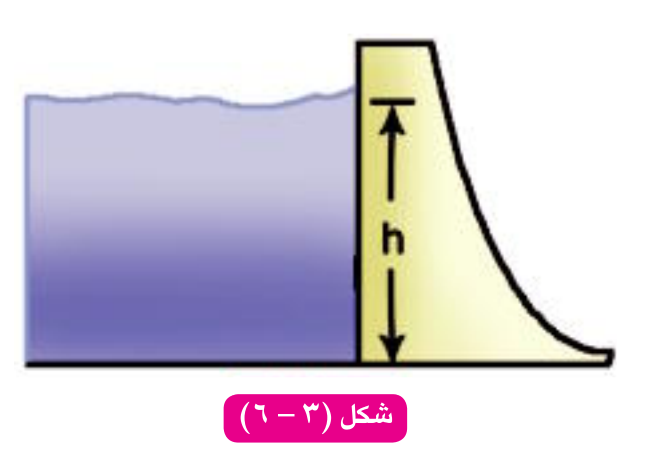
ولهذا فإن مستوي سطح البحر واحد لكل البحار المتصلة ببعضها.

٣- يصمم السد بحيث يزداد سمك السد عند قاعدته ليتحمل الضغط المتزايد مع زيادة العمق (شكل ٣-٦).



شكل (٣ - ٥)

يرتفع الماء إلى نفس المستوى فى الأوانى المستطرقة




شكل (٣ - ٦)

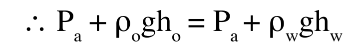
قواعد السدود أكثر سمكا لتتحمل الضغط عند عمق

## اتزان السوائل فى أنبوبة ذات شعبتين:

لنأخذ أنبوبة ذات شعبتين على شكل حرف U تحتوى على كمية مناسبة من الماء.

نضيف كمية من الزيت فى أحد فرعى الأنبوبة، وليكن الفرع الأيسر، حتى يصل سطح الزيت إلى مستوى معين عند C، مع ملاحظة أن الماء والزيت لا يمتزجان بل ويكون هناك مستوى فاصل بين الإثنين هو AD، وليكن ارتفاع الزيت $h_o$ فوق السطح الفاصل AD بين الماء والزيت، وليكن ارتفاع الماء فى الفرع الأيمن فوق المستوى AD هو $h_w$ (شكل ٣–٧).

ونظرا لأن الضغط عند A = الضغط عند D



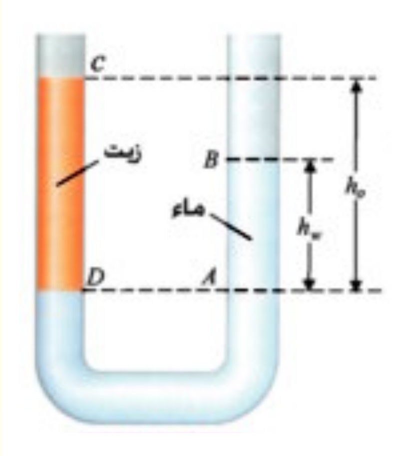
$$\therefore P_a + \rho_o g h_o = P_a + \rho_w g h_w$$

حيث $P_a$ الضغط الجوى، $\rho_o$ كثافة الزيت، $\rho_w$ كثافة الماء.

$$h_o \rho_o = h_w \rho_w$$

والعلاقة السابقة يمكن اختصارها على النحو التالى:

$$\frac{\rho_o}{\rho_w} = \frac{h_w}{h_o} \qquad (3-6)$$




شكل (٣ – ٧)

اتزان السوائل فى الأنبوبة ذات الشعبتين

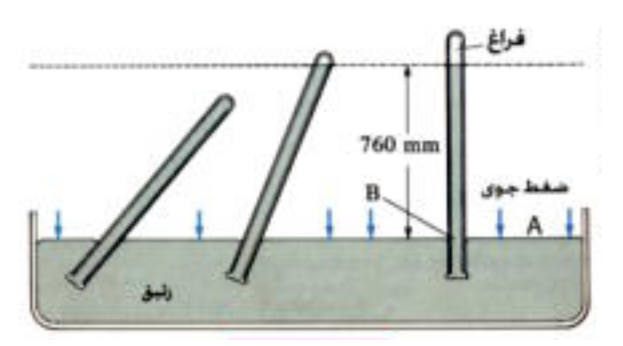
وبقياس $h_w$ ، $h_o$ يمكن تعيين الكثافة النسبية للزيت عمليا.

وبمعلومية كثافة الماء يمكن معرفة كثافة الزيت.

## الضغط الجوى Atmospheric Pressure:

لقياس الضغط الجوى قام تورشيلى *Torcelli* باختراع البارومتر الزئبقى، حيث أخذ أنبوبة زجاجية طولها حوالى متر، وملأها تماما بالزئبق، ثم نكسها فى حوض به زئبق. فلاحظ أن سطح الزئبق فى الأنبوبة قد انخفض إلى مستوى معين بحيث كان الارتفاع العمودى له 0.76m تقريباً.

وبديهى أن الحيز الموجود فوق سطح الزئبق فى الأنبوبة يكون مفرغا (إلا من قليل من بخار الزئبق الذى يمكن إهمال ضغطه) ، ويسمى هذا الحيز باسم فراغ تورشيلى.




شكل (٣ – ٨)

ارتفاع الزئبق فى المانومتر لا يتأثر بميل البارومتر

ويتضح من الشكل (٣–٨) أن الإرتفاع الرأسى لعمود الزئبق h داخل الأنبوبة فوق مستوي السطح الخالص للزئبق فى الحوض يظل ثابتاً،سواء كانت الأنبوبة فى وضع رأسي أو فى وضع مائل.

وإذا أخذنا النقطتين A ، B فى مستوى أفقى واحد (شكل ٣–٩)، بحيث تكون النقطة A خارج الأنبوبة عند سطح الزئبق فى الحوض والنقطة B داخلها فإن:

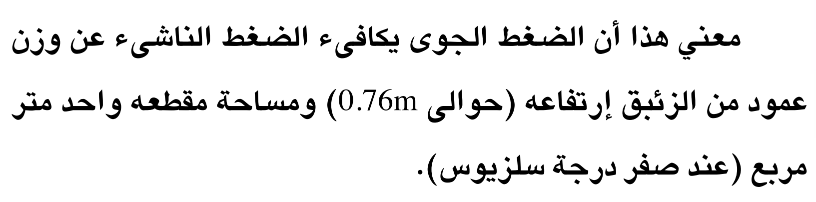
الضغط عند B = الضغط عند A

وبذلك يكون:

$$P_a = \rho g h \qquad (3-7)$$

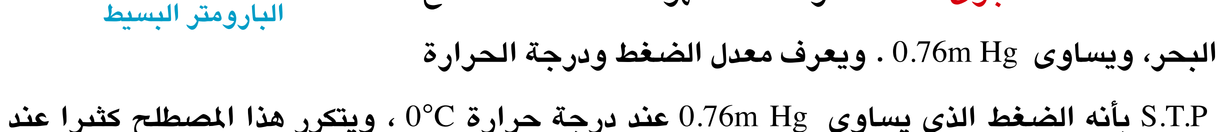
شكل (٣ – ٩)

البارومتر البسيط



معني هذا أن الضغط الجوى يكافىء الضغط الناشىء عن وزن عمود من الزئبق إرتفاعه (حوالى 0.76m) ومساحة مقطعه واحد متر مربع (عند صفر درجة سلزيوس).

–**الضغط الجوى المعتاد** هو ضغط الهواء مقاساً عند سطح البحر، ويساوى 0.76m Hg . ويعرف معدل الضغط ودرجة الحرارة



S.T.P بأنه الضغط الذى يساوى 0.76m Hg عند درجة حرارة $0°C$ ، ويتكرر هذا المصطلح كثيرا عند معالجة قوانين الغازات.

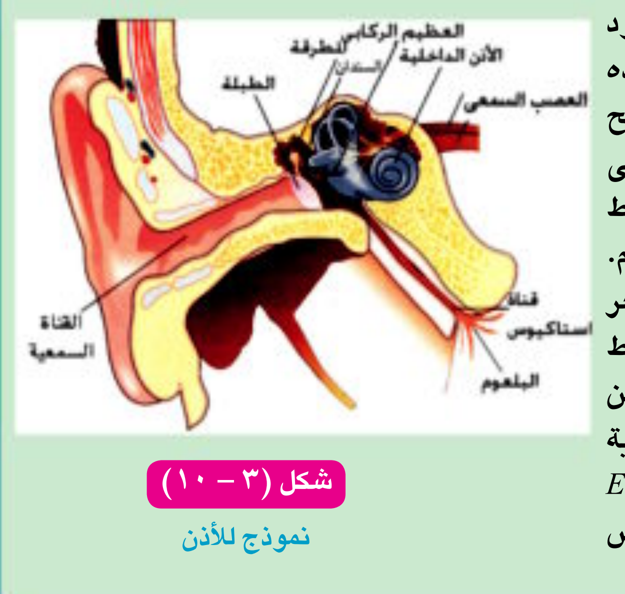
ونظرا لأن كثافة الزئبق عند $0°C$ تساوى $13595 kg/m^3$ وعجلة الجاذبية الأرضية $9.8 m/s^2$ فإن الضغط الجوى المعتاد:

$$P_a = 1\ Atm = 0.76 \times 13595 \times 9.81$$
$$= 1.013 \times 10^5\ N/m^2$$

**معلومة إثرائية**

## ماذا يحدث فى الأذن عند الإرتفاع عن سطح الأرض؟

الضغط الجوى هو وزن عمود الهواء فوق سطح الأرض لوحده المساحات. فكلما ارتفعنا عن سطح الأرض قل ارتفاع هذا العمود وبالتالى الضغط. وعند طبلة الأذن يتزن الضغط الخارجى مع الضغط الداخلى للجسم. لذلك عندما يقل الضغط الخارجى نشعر بتوتر فى طبلة الأذن، إذا أن الضغط الداخلى يدفعها قليلاً للخارج، ويمكن معادلة هذا الضغط بالتحكم فى كمية الهواء فى قناة استاكيوس *Eustachian Tube* بالبلع ومضغ اللبان لتخفيض الضغط على الطبلة (شكل ٣–١٠)




شكل (٣ – ١٠)

نموذج للأذن

### الوحدات التى يقاس بها الضغط الجوى:

يتضح من العلاقة السابقة أن الوحدات التى يقاس بها الضغط الجوى فى النظام الدولى هى نفسها وحدات الضغط وهى $N/m^2$.

ولقد اتخذت وحدة «باسكال» لتكافىء ($N/m^2$).

$$1\ Pascal = 1 N/m^2$$

وبالتالى يكون الضغط الجوى المعتاد $P_a = 1.013 \times 10^5\ Pascal$

كما اتخذت وحدة أكبر هى «بار» لتكافىء $1\ Bar = 10^5\ Pascal\ (10^5 N/m^2)$

وبالتالى يكون الضغط الجوى المعتاد $P_a = 1.013 Bar$

هذا فضلاً عن قياس الضغط الجوى بوحدة ميللميتر زئبق وتسمى ايضاً تور Torr

$$1\ Torr = 1\ mm\ Hg$$

ولذلك يكون الضغط الجوى المعتاد:

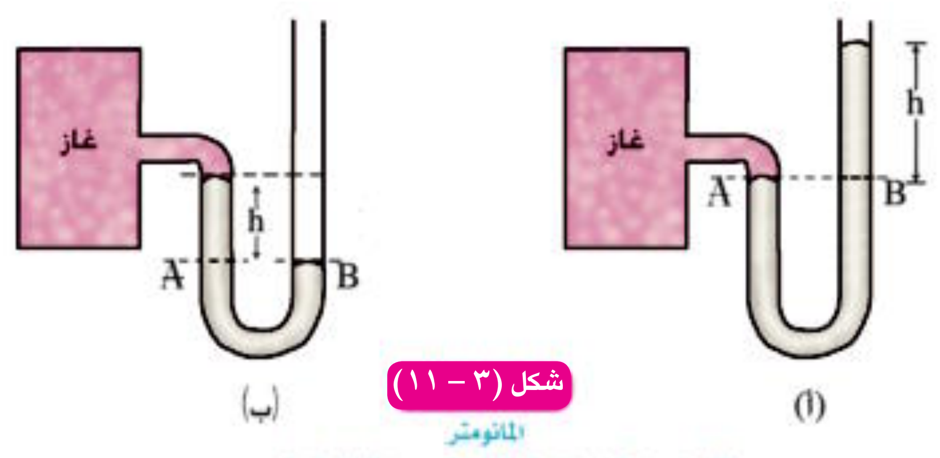
$$P_a\ (1\ Atm) = 760\ Torr = 760\ mm\ Hg = 0.76\ m\ Hg = 1.013\ Bar$$

## المانومتر:

المانومتر Manometer عبارة عن أنبوبة ذات شعبتين على شكل حرف U تحتوي على كمية سائل مناسب كثافته معروفة، تتصل إحدي الشعبتين بمستودع الغاز المراد قياس ضغطه، ونتيجة لذلك قد يرتفع سطح السائل فى المانومتر فى إحدى الشعبتين وينخفض فى الأخرى.

وإذا أخذنا النقطتين A,B فى مستوى أفقي واحد فى نفس السائل (شكل ٣-١١أ) يكون:

الضغط عند B = الضغط عند A $P = P_a + \rho gh$




شكل (٣ – ١١)

المانومتر

(أ) عندما يكون ضغط الغاز أكبر من الضغط الجوى.

(ب) عندما يكون ضغط الغاز أقل من الضغط الجوى.

حيث P ضغط الغاز المحبوس فى المستودع أكبر من $P_a$ الضغط الجوى، $\rho gh$ تمثل ضغط السائل فى الفرع الخالص للمانومتر فوق النقطة B ، وهو فرق الضغط بين $P_a$ ،P . وفى حالة إذا كان ضغط الغاز P أقل من الضغط الجوى (شكل ٣-١١ ب) فإن: $P = P_a - \rho gh$

حيث يكون سطح السائل فى الفرع الخالص للمانومتر أدنى من سطح السائل فى الفرع المتصل بالمستودع.

وفى كثير من التطبيقات العلمية لا يكون ضروريا قياس ضغط الغاز فى المستودع وإنما يكون من المفيد قياس فرق الضغط فقط أى:

$$\Delta P = P - P_a = \rho gh \qquad (3-8)$$

من هذه العلاقة يمكن بمعرفة كثافة السائل $\rho$ فى المانومتر، وفرق الإرتفاع h بين سطحى السائل فى شعبتيه، وكذلك عجلة الجاذبية g حساب فرق الضغط $\Delta P$.

وأيضا يمكن حساب ضغط الغاز بمعرفة الضغط الجوى.

**تطبيقات على الضغط:**

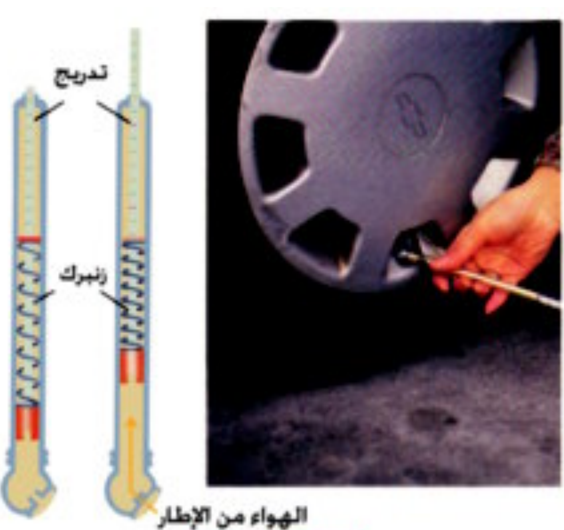
١- الدم سائل لزج، يُضخ من خلال نظام معقد من الشرايين والأوردة، بواسطة تأثير عضلى للقلب. وإنسياب الدم خلال الجسم - عادة - ما يكون انسياباً هادئاً.

أما إذا كان معدل انسياب الدم مضطرباً فإنه يكون مصحوباً بضجيج، ويعتبر هذا الشخص مريضاً. ومن السهل الإحساس بهذا الضجيج من خلال سماعة الطبيب عند وضعها على الشريان، وهذا يحدث عند قياس ضغط الدم، حيث توجد - عادة - قيمتان للضغط:

الضغط الانقباضى Systolic Pressure وفيه يكون ضغط الدم بالشريان فى أقصى قيمة له، ويحدث عندما تتقلص عضلة القلب، ويندفع الدم من البطين الأيسر Left Ventricle إلى الأورطى (الأبهر) Aorta، ومن هناك إلى الشرايين.

والضغط الإنبساطى Diastolic Pressure وفيه يقل ضغط الدم بالشريان إلى أقل ما يمكن عند انبساط عضلة القلب. وفى الإنسان المتمتع بصحة جيدة يكون الضغط الإنقباضى 120 Torr والضغط الانبساطى 80 Torr

٢- يمتلىء إطار السيارة بالهواء تحت ضغط عالى، فتكون مساحة التماس مع الطريق أقل ما يمكن، أما إذا كان الإطار ممتلئاً تحت ضغط منخفض فإن مساحة التماس بين الإطار والطريق تزداد، ويؤدى ذلك إلى زيادة الاحتكاك وسخونة الإطار، ويمكن قياس ضغط الهواء فى الإطار بمقياس ضغط الهواء (شكل ٣-١٢).




شكل (٣ - ١٢)

قياس ضغط هواء فى إطار سيارة

**أمثلة:**

**١- متوازى مستطيلات صلب أبعاده** $(5\ cm \times 10\ cm \times 20\ cm)$ **كثافة مادته** $5000\ kg/m^3$ **وضع على سطح مستوى أفقى. إحسب أقصى وأقل ضغط له.**

**(اعتبر عجلة الجاذبية الأرضية** $10\ m/s^2$**)**

**الحل:**

**(أ) لحساب أقصى ضغط، يوضع الجسم على الوجه ذى المساحة الأقل، وهو الوجه الذى أبعاده** $(5\ cm \times 10\ cm)$.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{5 \times 10 \times 20 \times 10^{-6} \times 5000 \times 10}{5 \times 10 \times 10^{-4}} = 10^4\ (N/m^2)$$

**(ب) لحساب أقل ضغط، يوضع الجسم على الوجه ذى المساحة الأكبر، وهو الوجه الذى أبعاده** $(10\ cm \times 20\ cm)$.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{5 \times 10 \times 20 \times 10^{-6} \times 5000 \times 10}{10 \times 20 \times 10^{-4}} = 2500\ N/m^2$$

**٢- أوجد الضغط الكلى وكذلك القوى الضاغطة الكلية المؤثرة على قاع حوض به ماء مالح كثافته** $1030 kg/m^3$ **إذا كانت مساحة مقطع الحوض** $1000 cm^2$ **وارتفاع الماء به واحد متر، وكان سطح الماء فى الحوض معرضا للهواء الجوى، وعجلة الجاذبية** $10\ m/s^2$ **والضغط الجوى** $1{,}013 \times 10^5\ N/m^2$

**الحل:**

**(أ) الضغط الكلى:**

$$P = P_a - \rho g h$$
$$= 1.013 \times 10^5 + 1030 \times 10 \times 1$$
$$= (1.013 + 0.103) \times 10^5 = 1.116 \times 10^5\ N/m^2$$

**(ب) القوة الضاغطة الكلية:**

$$F - P \times A - 1.116 \times 10^5 \times 1000 \times 10^{-4}$$
$$- 1.116 \times 10^4\ N$$

٣– استخدم مانومتر زئبقى لقياس ضغط غاز داخل مستودع، فكان سطح الزئبق فى الفرع الخالص أعلى من سطحه بالفرع المتصل بالمستودع بمقدار 36cm

ما قيمة ضغط الغاز المحبوس بوحدات (أ) cmHg (ب) Atm (جـ) $N/m^2$

علما بأن الضغط الجوى $0.76\ m.Hg = 1.013 \times 10^5 N/m^2$

**الحل:**

(أ) بوحدات cmHg:

$$P = P_a + h = 76 + 36 = 112cm\ Hg$$

(ب) بوحدات (Atm):

$$P = \frac{(P\ cm\ Hg)}{76} = \frac{112}{76} = 1.474\ Atm$$

(جـ) بوحدات $N/m^2$:

$$P = 1.474 \times 1.013 \times 10^5 = 1.493 \times 10^5\ N/m^2$$

٤ – انبوبة على هيئة حرف U مساحة مقطع فرعها الضيق $1cm^2$ ومساحة مقطع فرعها الواسع $2cm^2$ ملئت جزئيا بالماء (كثافته $1000\ kg/m^3$)، ثم صب فيها كمية من الزيت (كثافته $800\ kg/m^3$) من الفرع الضيق حتى أصبح طول عمود الزيت 5 cm إحسب إرتفاع سطح الماء فوق السطح الفاصل بين الماء والزيت.

**الحل:**

$$\because P = \rho_o g h_o = \rho_w g h_w$$

$$\therefore \rho_o h_o = \rho_w h_w$$

$$h_w = \frac{\rho_o h_o}{\rho_w} = \frac{800 \times 5}{1000} = 4\ cm$$

**ملحوظة:**

نصف قطر الأنبوبة (أو مساحتها مقطعها) لايؤثر إطلاقا على إرتفاع كل من السائلين فى فرع الأنبوبة، من ذلك يتضح أن مستوى السائل فى الإناء لا يتأثر بشكل الإناء.

## قاعدة باسكال Pascal´s Principle:

إذا أخذنا أحد السوائل فى إناء زجاجي كالمبين بالشكل (٣–١٣) مزود بمكبس فى أعلاه، يكون الضغط عند نقطة مثل A فى باطنه على عمق h هو $P = P_1 + h\rho g$، حيث $P_1$ الضغط عند سطح السائل (تحت المكبس مباشرة). وينتج عن الضغط الجوى والضغط الناشئ عن وزن المكبس أو قوة المكبس.

وإذا زدنا الضغط على المكبس بمقدار $\Delta P$ وذلك بوضع ثقل إضافى على المكبس– نلاحظ عدم تحرك المكبس إلى الداخل لعدم قابلية السائل للإنضغاط. لكن الضغط عند سطح السائل تحت المكبس مباشرة سيزداد بدوره بمقدار $\Delta P$، وسيزداد الضغط عند نقطة A التى تقع على عمق h تحت هذا السطح بدوره بمقدار $\Delta P$ ، ويصبح الضغط عند هذه النقطة $P = P_1 + h\rho g + \Delta P$

فإذا زاد الضغط إلى حد معين يمكن أن ينكسر الإناء.

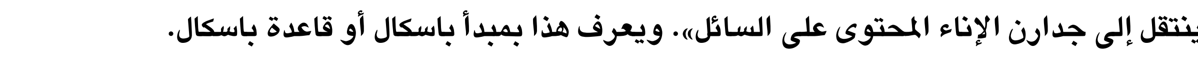
ولقد قام العالم الفرنسى باسكال بصياغة هذه النتيجة كما يلى:

«عندما يؤثر ضغط على سائل محبوس فى إناء فإن الضغط ينتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل كما ينتقل إلى جدران الإناء المحتوى على السائل». ويعرف هذا بمبدأ باسكال أو قاعدة باسكال.

F
$P_1$
مكبس
h
P
A
t
w
I

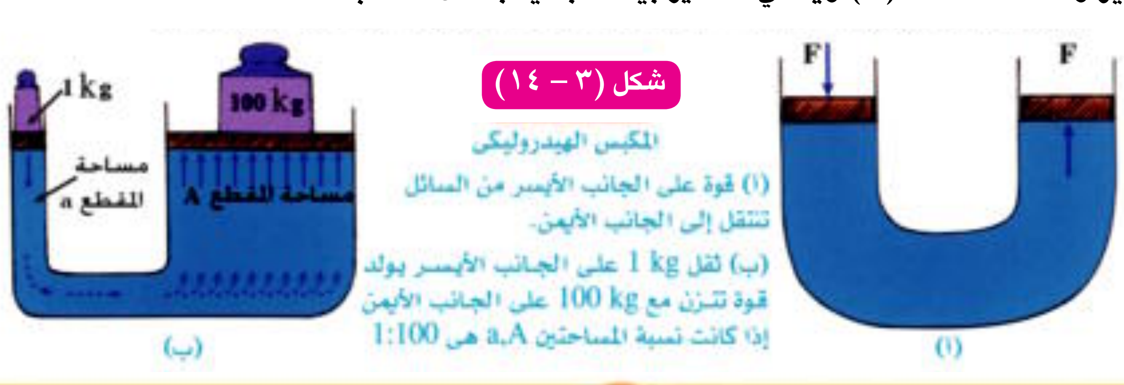
شكل (٣ – ١٣)

زيادة الثقل على المكبس تزيد الضغط فى السائل



## تطبيق على قاعدة باسكال: المكبس الهيدروليكي *Hydraulic Press*:

توجد عدة تطبيقات تعتمد على قاعدة باسكال ومنها المكبس الهيدروليكي وفرامل السيارات. يتركب المكبس الهيدروليكي كما فى الشكل (٣–١٤) من المكبس الصغير ومساحة مقطعه (a) والمكبس الكبير ومساحة مقطعه (A) ويمتلىء الحيز بين المكبسين بسائل مناسب.




شكل (٣ – ١٤)

المكبس الهيدروليكى

(أ) قوة على الجانب الأيسر من السائل تنتقل إلى الجانب الأيمن.

(ب) ثقل 1 kg على الجانب الأيسر يولد قوة تتزن مع 100 kg على الجانب الأيمن إذا كانت نسبة المساحتين a.A هى 1:100

فاذا تأثر المكبس الصغير بضغط P ، يتأثر السائل بدوره بنفس الضغط.

وينتقل هذا الضغط P بتمامه خلال السائل إلى السطح السفلى للمكبس الكبير.

وأذا فرضنا أن القوة المؤثرة على المكبس الصغير (f) والقوة المؤثرة على المكبس الكبير (F) ، ونظرًا لأن الضغط المؤثر على المكبسين له نفس القيمة عند الإتزان فى مستوى أفقى واحد فإن:

$$P = \frac{f}{a} = \frac{F}{A}$$

$$F = \frac{A}{a} f \quad (3\text{-}9)$$

ومن العلاقة السابقة يتضح أنه عندما تؤثر قوة (f) على المكبس الصغير تتولد على المكبس الكبير قوة أكبر هى القوة (F). والفائدة الآلية Mechanical Advantage للمكبس الهيدروليكى ويرمز لها بالرمز η هى:

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} \quad (3\text{-}10)$$

أى أن الفائدة الآلية للمكبس الهيدروليكي تتعين بنسبة مساحة المكبس الكبير إلى مساحة المكبس الصغير.

وبالرجوع إلى الشكل (٣–١٥) يتضح أنه:

إذا حرك المكبس الصغير إلى أسفل مسافة $y_1$ تحت تأثير f فإن المكبس الكبير يتحرك إلى أعلى مسافة $y_2$ تحت تأثير F.وتبعا لقانون بقاء الطاقة يكون الشغل المبذول واحداً فى الحالتين، وبفرض أن المكبس مثالى وكفاءته (100%) .



شكل (٣ – ١٥)

الفائدة الآلية

$$f y_1 = F y_2$$

$$\frac{f}{F} = \frac{y_2}{y_1}$$

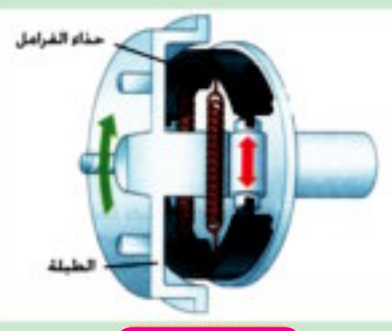
$$F = \frac{y_1}{y_2} f \quad (3\text{-}11)$$

وهذا يدل على أن الفائدة الآلية للمكبس يمكن أيضاً التعبير عنها بالنسبة $\frac{y_1}{y_2}$

**معلومة إثرائية**

## تطبيقات على قاعدة باسكال

١- تستخدم الفرملة الهيدروليكية Hydraulic Brake للسيارة قاعدة باسكال، حيث يستخدم نظام الفرملة سائلاً وسيطاً Brake Fluid. وعند الضغط على دواسة الفرملة بقوة بسيطة ولمسافة كبيرة نسبيا، تنشأ قوة كبيرة على المكبس فى اسطوانة الفرملة العمومية Master Brake Cylinder. وينتقل هذا الضغط إلى السائل، ومن ثم إلى باقى خط الفرملة، ثم إلى مكابس اسطوانات فرملة العجل Wheel Cylinder إلى الخارج، ومن ثم على حذاء الفرملة Brake Shoes، ثم إلى جسم الفرملة Brake Drum. فتنشأ قوة احتكاك كبيرة توقف العجلة وبالتالى السيارة، ويسمى هذا النوع من الفرامل Drum Brake وهى الفرملة الخلفية (شكل ٤-١٦). أما فى حالة الفرملة الأماميةوالتى تستخدم نظام القرص Disk Brake (شكل ٤-١٧) فإن القوى الناشئة عن الفرملة تضغط على مخدات الفرامل Brake Pads، وينشا عن ذلك احتكاك يوقف العجلة. ويلاحظ أن المسافة التي يتحركها حذاء الفرملة فى الحالتين صغيرة لأن القوة كبيرة.



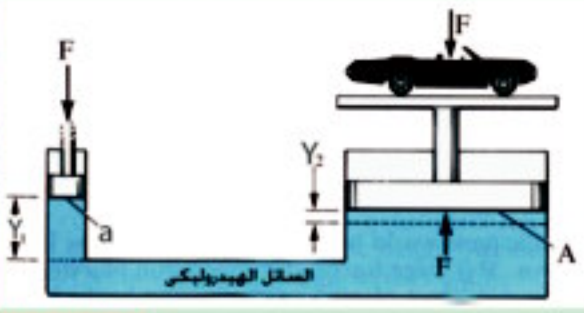

شكل (٣ – ١٦)
الفرامل الخلفية




شكل (٣ – ١٧)
الفرامل الأمامية

٢- فى تطبيق آخر لقاعدة باسكال يستخدم الرافعة الهيدروليكية Hydraulic Lift سائلاً لرفع السيارة فى محطات البنزين (شكل ٤-١٨).






شكل (٣ – ١٨)
الرافعة الهيدروليكية

٣- الحفار الهيدروليكى Caterpillar يعتمد على قاعدة باسكال (شكل ٤-١٩)



شكل (٣ – ١٩)
الحفار الهيدروليكى

٤- يلبس الغواص بدلة الغطس. وخوذة تحميه من الضغط فى الأعماق الكبيرة. وفي الأعماق القليلة يلجا إلى نفخ الهواء في جيوبه الأنفية لمعادلة الضغط الخارجى (شكل ٤-٢٠). وفى الأعماق الكبيرة فإن بدلة الغطس تنفخ بالهواء وتحمى الخوذة رأس الغواص من الضغط الشديد (شكل ٤-٢١).



شكل (٣ – ٢٠)
الغوص على اعماق قريبة من السطح



شكل (٣ – ٢١)
الغوص على اعماق كبيرة (٥٠٠ متر)

**مثال:**

مكبس مائى مساحة مقطع مكبسه الصغير $10cm^2$ تؤثر عليه قوة 100N ومساحة مقطع مكبسه الكبير $800cm^2$ فإذا علمت أن عجلة الجاذبية الأرضية $10m/s^2$ احسب:

(أ) أكبر كتلة يمكن رفعها بواسطة المكبس الكبير.

(ب) الفائدة الآلية للمكبس.

(جـ) المسافة التى يتحركها المكبس الصغير ليتحرك المكبس الكبير بمقدار 1cm.

**الحل:**

القوة المؤثرة على المكبس الكبير

$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A}$$

$$F = \frac{100}{10} \times 800 = 8 \times 10^3 \text{ N}$$

(أ) أكبر كتلة يمكن رفعها بواسطة المكبس الكبير.

$$m = \frac{F}{g} = \frac{8 \times 10^3}{10} = 800\ kg$$

(ب) الفائدة الآلية للمكبس.

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} = \frac{800}{10} = 80$$

(جـ) المسافة التى يتحركها المكبس الصغير ليتحرك المكبس الكبير بمقدار 1cm.

$$f y_1 = F y_2$$

$$y_1 = \frac{8000 \times 1}{100} = 80\ cm$$

## تلخيص

### أولاً: التعاريف والمفاهيم الأساسية:

- الكثافة ($\rho$): هي كتلة وحدة الحجوم من المادة ووحدتها ($kg/m^3$).
- الضغط عند نقطة ($P$):

القوة المؤثرة عمودياً على وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة ($N/m^2$).

- جميع النقط التي في مستوى أفقي واحد في سائل ساكن يكون لها نفس الضغط.
- الضغط الجوي المعتاد: هو الضغط الناشيء عن وزن عمود الهواء المؤثر على وحدة المساحات عند نقطة معينة عند سطح البحر. وهو يكافيء الضغط الناشيء عن وزن عمود من الزئبق إرتفاعه حوالي $0.76m$ ومساحة مقطعه واحد متر مربع عند درجة $0°C$.

وحداته باسكال ($N/m^2$) أو بار (Bar) $10^5\ N/m^2$ أو mm Hg (Torr)

- المانومتر: جهاز يستخدم لقياس الفرق بين ضغط غاز محبوس في إناء والضغط الجوي.
- قاعدة باسكال:

عندما يؤثر ضغط على سائل محبوس فإن الضغط ينتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل كما ينتقل إلى جدران الإناء المحتوي على السائل.

### ثانياً: القوانين والعلاقات الهامة:

- الكثافة ($\rho$) = $\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$ $\qquad \rho = \frac{m}{V_{ol}}$
- الضغط ($P$) = $\frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$ $\qquad P = \frac{F}{A}$
- الضغط عند نقطة في باطن سائل كثافته $\rho$ معرض للهواء على عمق $h$ من سطحه.

$$P = P_a + \rho g h$$

حيث $P_a$ الضغط الجوي، $g$ عجلة الجاذبية الارضية.

● إتزان السوائل فى أنبوبة ذات شعبتين $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$.

المكبس الهيدروليكي $\frac{f}{a} = \frac{F}{A}$

حيث f القوة المؤثرة على المكبس الصغير الذى مساحته مقطعه a ، F القوة المؤثرة على المكبس الكبير الذى مساحة مقطعه A

● الفائدة الآلية $\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a}$

● لتعيين المسافة التى يتحركها المكبس الكبير $y_2$ بدلالة المسافة التى يتحركها المكبس الصغير $y_1$ نستخدم العلاقة: $fy_1 = Fy_2$

## أسئلة وتمارين

**أولاً: اختر الإجابة الصحيحة:**

١- العوامل التالية تؤثر على الضغط الواقع على قاع إناء ماعدا

(أ) عمق السائل فى الإناء.    (ب) كثافة السائل.

(جـ) عجلة الجاذبية الأرضية    (د) الضغط الجوي.

(هـ) مساحة قاعدة الإناء

٢- أى العوامل الأتية لاتؤثر على إرتفاع عمود الزئبق فى البارومتر:

(أ) كثافة الزئبق    (ب) مساحة سطح الأنبوبة.

(جـ) الضغط الجوى    (د) عجلة الجاذبية الأرضية.

(هـ) درجة حرارة الزئبق.

٣- يعتمد ضغط المياه الموجود عند قاع بحيره السد العالى المؤثر على جسم السد على:

(أ) مساحة سطح المياه    (ب) طول السد.

(جـ) عمق المياه    (د) سمك حائط السد.

(هـ) كثافة مادة الحائط.

٤- إذا كانت النسبة بين نصفى قطر المكبسين الأسطوانيين فى المكبس المائى هى 9:2 تكون النسبة بين القوتين على المكبسين تساوى:

(أ) 9:2    (ب) 2:9.

(جـ) 4:18    (د) 81:4.

(هـ) 4:81.

**ثانيًا : عرف كلا مما يأتى :**

**١- الكثافة** **٢- الضغط عند نقطة**

**٣- قاعدة باسكال**

**ثالثًا : أسئلة المقال :**

**١- اثبت أن الضغط P عند أى نقطة فى باطن سائل على عمق h يتعين من العلاقة**

$$P = P_a + \rho gh$$

**حيث $P_a$ الضغط الجوى ، ρ كثافة السائل ، g عجلة الجاذبية الأرضية.**

**٢- صف المانومتر واشرح طريقة عمله فى قياس ضغط غاز فى مستودع.**

**٣- ما المقصود بقاعدة باسكال؟ اشرح أحد تطبيقاتها.**

**رابعًا : تمارين :**

**١- إذا كان الضغط على قاع إناء اسطوانى به زيت هو $15 \times 10^3 N/m^2$ احسب القوة الكلية المؤثرة على قاعدة الإناء إذا كان قطر القاعدة 8m** $(7.54 \times 10^4 N)$

**٢- مطلوب لإطار سيارة فرق ضغط قدره $3.039 \times 10^5 N/m^2$ فإذا كان الضغط الجوى $1.013 \times 10^5 N/m^2$ فأوجد الضغط داخل إطار السيارة بوحدات الضغط الجوى** (4 Atm)

**٣- قاعدة حوض أسماك مساحتها $1000 cm^2$ وكان الحوض يحتوى على ماء وزنه 4000 N احسب ضغط الماء على قاع الحوض.** $(4 \times 10^4 N/m^2)$

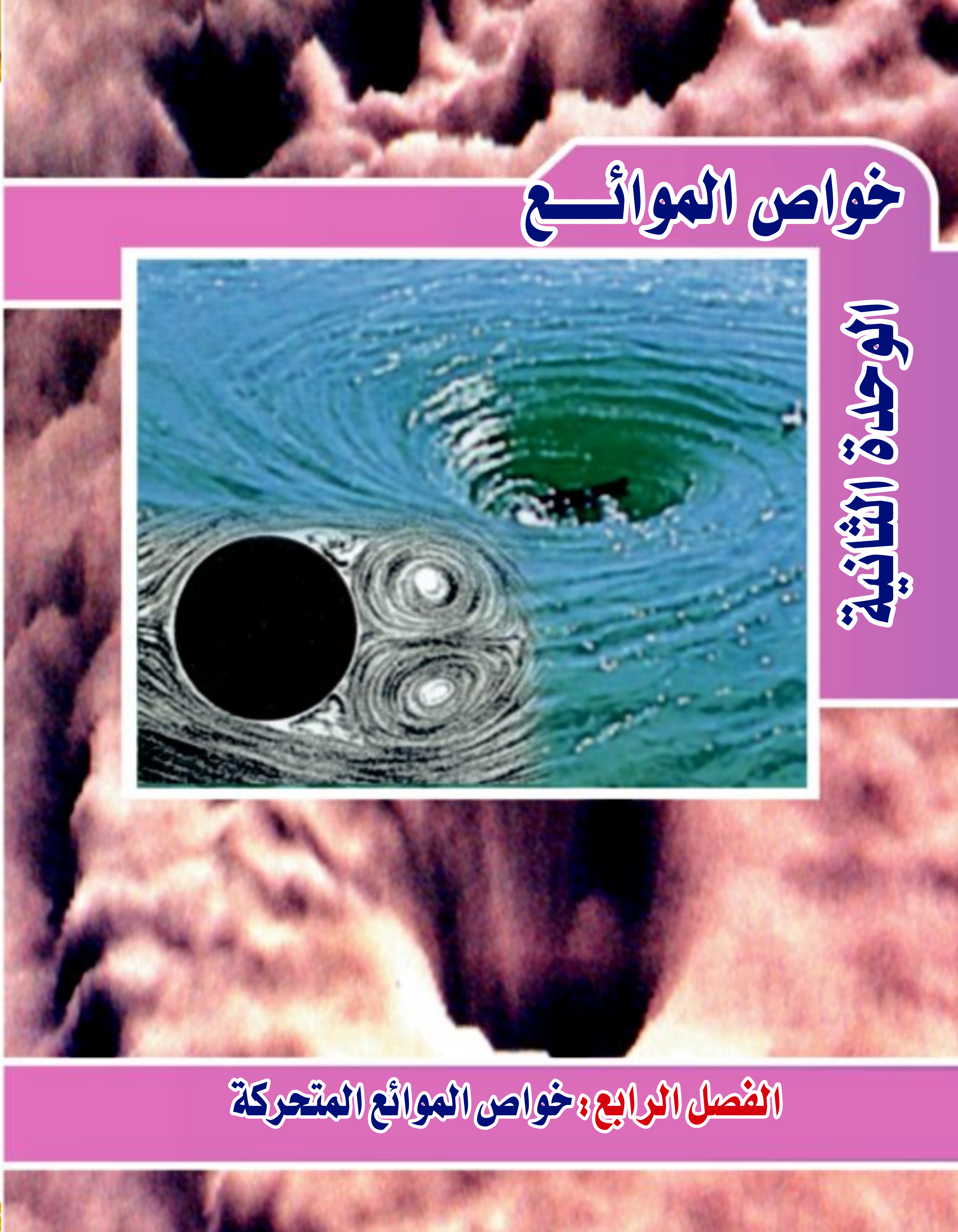
**٤- المكبسان الصغير والكبير فى مكبس هيدروليكى قطراهما 2cm ، 24cm على الترتيب تولدت قوة مقدارها 2000 N على المكبس الكبير . احسب القوة المؤثرة على المكبس الصغير، وكذلك الفائدة الآلية للمكبس.** (13.9 N, 144)

**٥- إذا كان الضغط الجوى عند سطح ماء فى بحيرة هو** 1 Atm **، ما عمق البحيرة إذا كان الضغط عند قاعها** 3 Atm**؟ علما بأن كثافة الماء** $1000 kg/m^3$ **وأن الضغط الجوى يعادل** $1.013 \times 10^5 N/m^2$ **وعجلة الجاذبية =** $9.8 m/s^2$ (20.673 m)

**٦- يحمل رجل بارومتر زئبقى قراءته عند الطابق الأرضى** 76 cm Hg **وعند الطابق العلوى** 74.15 cm Hg **فإذا كان ارتفاع المبنى** 200 m**، فاحسب متوسط كثافة الهواء بين هذين الطابقين إذا علمت أن كثافة الزئبق** $13600 kg/m^3$ **علما بأن عجلة الجاذبية** $9.8 m/s^2$ ($1.258 kg/m^3$)

**٧- مانومتر يحتوى على زئبق يتصل بمستودع به غاز محبوس. فإذا كان فرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الفرعين** 25cm **فأحسب فرق الضغط وكذلك الضغط المطلق للهواء المحبوس مقدرًا بوحدة** $N/m^2$**، علما بأن الضغط الجوى يعادل** $1.013 \times 10^5 N/m^2$ **وعجلة الجاذبية الأرضية =** $9.8 m/s^2$ **وكثافة الزئبق =** $13600 kg/m^3$

($0.3332 \times 10^5 N/m^2$، $1.3462 \times 10^5 N/m^2$)



خواص الموائـــع
الوحدة الثانية
الفصل الرابع: خواص الموائع المتحركة

# الفصل الرابع

## خواص الموائع المتحركة

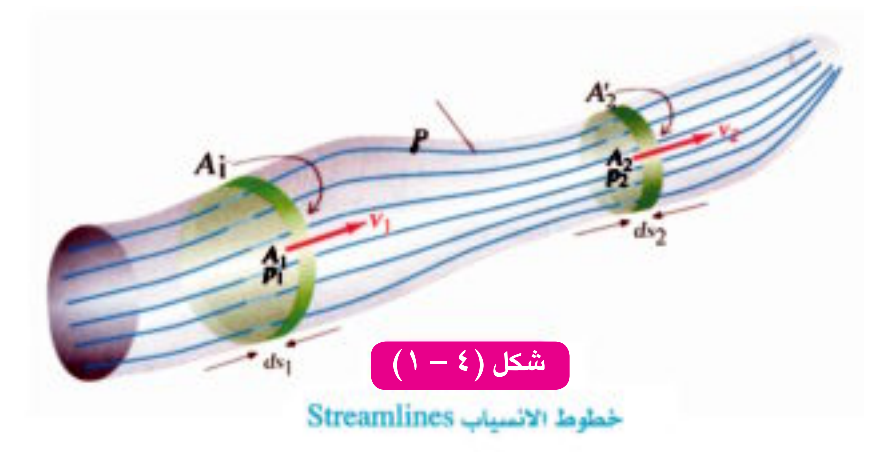
### المقدمة:

نتحول الآن من دراسة الموائع الساكنة إلى دراسة الموائع المتحركة *Hydrodynamics* .

ينبغى أن نميز بين نوعين من سريان الموائع، السريان الهادئ، والسريان المضطرب.

### السريان الهادئ *Steady Flow*

عندما يتحرك سائل ما بحيث تنزلق طبقاته المتجاورة فى نعومة ويسر يقال إن السائل يسرى سريانًا طبقيًّا أو سريانًا إنسيابياً. والسريان الطبقى Laminar Flow أو (الانسيابى) يسمى السريان الهادئ Streamline Flow أو المستقر Steady Flow ، ويتميز هذا النوع من الانسياب بأن كل كمية صغيرة من السائل تتبع أو تتخذ مسارًا متصلا يسمى خط الأنسياب Streamline . وعلى هذا الأساس يمكننا تصور سريان السائل فى أنبوبة حقيقية أو افتراضية برسم مجموعة من خطوط الانسياب Streamlines ، وذلك بتتبع مسارات أجزاء السائل المختلفة كما فى الشكل (٤-١)، وأهم ما يميز خطوط الانسياب أنها لا تتقاطع، كما أن المماس لأى نقطة على خط الانسياب يحدد اتجاه السرعة اللحظية لكل كمية صغيرة من السائل عند تلك النقطة. ويحدد عدد خطوط الانسياب التى تمر عموديا بوحدة المساحات عند نقطة معينة (كثافة خطوط الانسياب) سرعة سريان السائل عند تلك النقطة. ولهذا تتزاحم خطوط الانسياب فى السرعات الكبيرة وتتباعد فى السرعات المنخفضة.




شكل (٤ - ١)

Streamlines خطوط الانسياب

## شروط السريان الهادئ :

١– أن يكون معدل سريان السائل ثابتًا على طول مساره لأن السائل غير قابل للانضغاط وكثافة السائل لا تتغير مع المسافة أو الزمن.

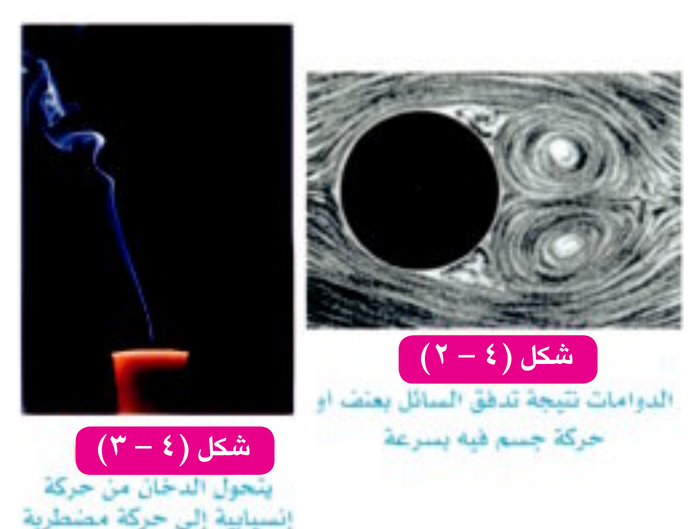
٢– فى السريان الهادئ Steady Flow لا تتوقف سرعة السائل عند كل نقطة على الزمن.

٣– السريان غير دوار Irrotational أى أنه لا توجد دوامات Vortex Flow.

٤– لا توجد قوى احتكاك بين طبقات السائل Nonviscous .

## السريان المضطرب :

وإذا زادت سرعة انسياب السائل عن حد معين يتحول السريان الهادئ إلى سريان مضطرب Turbulent Flow ويتميز بوجود دوامات صغيرة دائرية Vortices (شكل ٤–٢). ويحدث نفس الشئ بالنسبة للغازات أيضا. فإنه نتيجة انتشار الغاز من حيز صغير إلى حيز كبير ومن ضغط عال إلى ضغط أقل فإنه يتحرك حركة دوامية (شكل ٤–٣).



شكل (٤ – ٢)
الدوامات نتيجة تدفق السائل بعنف أو حركة جسم فيه بسرعة

شكل (٤ – ٣)
يتحول الدخان من حركة إنسيابية إلى حركة مضطربة

## معدل السريان ومعادلة الاستمرارية :

سنقتصر هنا على دراسة السريان الهادئ الذى يمكن وصفه كما يلى :

نتصور أنبوبة سريان Flow Tube بحيث:

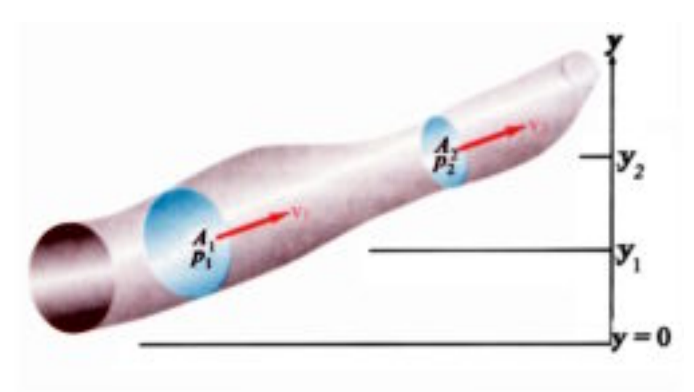
١– يملأ السائل الأنبوبة تماما.

٢– تكون كمية السائل التى تدخل إلى الأنبوبة عند أحد طرفيها مساوية لكمية السائل التى تخرج منها عند الطرف الآخر فى نفس الزمن، نظرًا لأن السائل غير قابل للانضغاط.

٣– لا تتغير سرعة سريان السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة مع الزمن. وتوجد علاقة تربط معدل سريان السائل بسرعته ومساحة مقطع الأنبوبة، وتسمى هذه العلاقة معادلة الاستمرارية Continuity Equation .

ولإدراك ما نعنيه بمعادلة الاستمرارية، نختار مستويين عموديين على خطوط الانسياب عند مقطعين كما فى شكل (٤–٤)، مساحة مقطع المستوى الأول $A_1$ ومساحة مقطع المستوى الثانى $A_2$، ويكون حجم السائل المنساب خلال المساحة $A_1$ فى وحدة الزمن (معدل الانسياب الحجمى) هو $Q_v = A_1 v_1$

حيث $v_1$ سرعة السائل عند المقطع $A_1$ . كما تكون كتلة السائل المنساب فى وحدة الزمن والذى كثافته ρ (أى معدل الانسياب الكتلى) هى $Q_m = \rho Q_v = \rho A_1 v_1$.
وبالمثل يكون معدل الانسياب الكتلى خلال المساحة $A_2$ هو $\rho Q_v = \rho A_2 v_2$
ونظرا لأن معدل الانسياب الكتلى ثابت فى حالة السريان الهادئ فإن:




شكل (٤ – ٤)
نموذج لاستنتاج معادلة الاستمرارية

$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \quad (4\text{-}1)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

وهذه هى معادلة الاستمرارية، أى أن (4-2)

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

ومن هذه العلاقة (4-2) نتبين أن سرعة السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة تتناسب عكسيا مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة. فالسائل ينساب ببطء شديد فى الأنبوبة عندما تكون مساحة مقطعها كبيرة $(A_1)$ ، وينساب بسرعة أكبر عندما تكون مساحة مقطعها صغيرة $(A_2)$ (شكل ٤–٥).

شكل (٤ – ٥)
أساس معادلة الاستمرارية

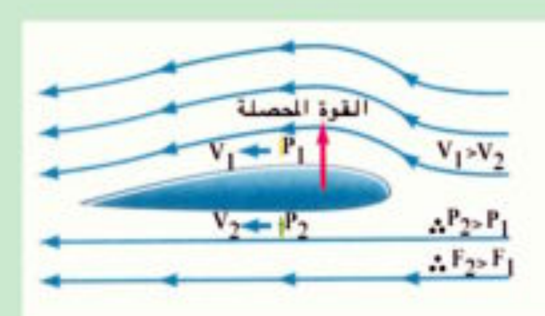
ولفهم معادلة الاستمرارية أكثر نتصور أن لدينا سائلًا، ونعتبر كتلة صغيرة منه $\Delta m$ ، هذه الكتلة هى $\Delta m = \rho \Delta V_{ol}$ حيث ( $A_1 \Delta x_1 = \rho \Delta V_{ol}$ ) بينما $\Delta x_1$ هى المسافة التى يتحركها السائل فى زمن $\Delta t$ أى أن $\Delta x_1 = v_1 \Delta t$، وبذلك يكون ، لابد أن ينتقل نفس هذا الحجم فى الجانب الآخر من الأنبوبة لأن السائل غير قابل للانضغاط أى أن $\Delta V_{ol} = A_2 v_2 \Delta t$ ، ومن ثم ينبغى التأكيد هنا على أن معدل الانسياب للسائل هو معدل انسياب حجمى $Q_v$ ووحدته $(m^3/s)$ أو معدل انسياب كتلى $Q_m$ ووحدته (kg/s) وكلاهما مقدار ثابت عند أى مساحة مقطع. وهذا يسمى قانون بقاء الكتلة Conservation of Mass والذى يؤدى إلى معادلة الاستمرارية.

## معلومة إثرائية

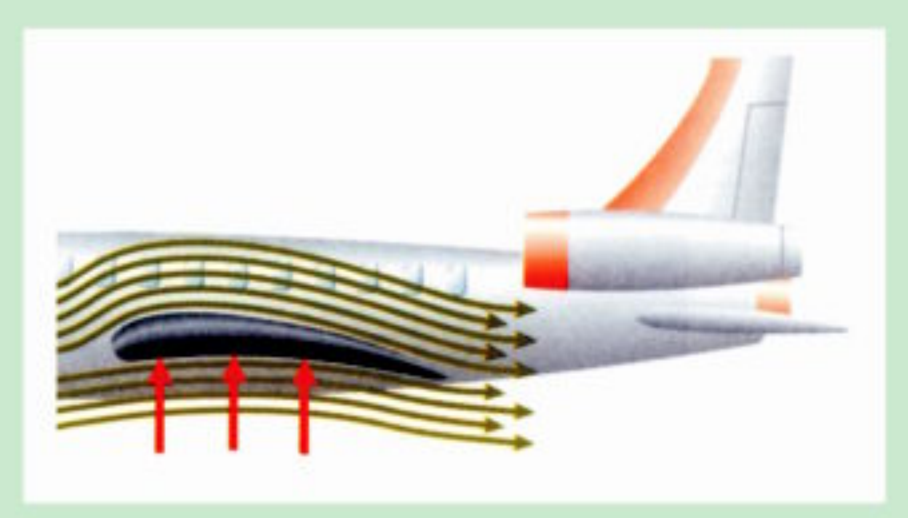
### لماذا تطير الطائرة ولا تسقط ؟

حركة الطائرة تؤدي إلى تكون منطقة فوق الجناحين يكون فيها الضغط أقل مما هو تحت الجناحين فتنشأ قوة دفع لأعلى تتزن مع وزن الطائرة (شكل ٥–٧) . وهذه الظاهرة تسمى ظاهرة برنولي *Bernoulli's effect*






ب) توجد منطقة خلخلة فى الضغط فوق الجناح



ج) القوة الناتجة عن فرق الضغط تدفع الطائرة لأعلى

شكل (٤ – ٧)

كيف تطير الطائرة

**أمثلة :**

**١– تدخل أنبوبة مياه قطرها 2 cm منزلا وسرعة سريان الماء بها 0.1 m/s، ثم يصبح قطرها 1 cm احسب:**

**( أ ) سرعة الماء فى الجزء الضيق.**

**(ب) كمية الماء (حجمه وكتلته) التى تنساب كل دقيقة خلال أى مقطع من مقاطع الأنبوبة (إذا كانت كثافة الماء = $1000\ kg/m^3$)**

**الحل :**

**( أ ) نعلم أن** $A_1 v_1 = A_2 v_2$

$$\pi (0.01m)^2 (0.1\ m/s) = \pi (0.005m)^2 v_2$$

$$v_2 = \frac{\pi \times 10^{-4} \times 0.1}{\pi \times 2.5 \times 10^{-5}} = 0.4 m/s$$

**(ب) معدل الحجم المنساب يتعين من العلاقة :**

$$Q_v = A_1 v_1 \text{ أو } A_2 v_2$$
$$= \pi \times 10^{-4} \times 0.1 \text{ أو } \pi \times 2.5 \times 10^{-5} \times 0.4$$
$$= 3.14 \times 10^{-5} m^3/s$$

**وبذلك يكون الحجم المنساب فى دقيقة هو :**

$$V'_{ol} = Q_v \times 60 = 3.14 \times 10^{-5} \times 60 = 188.4 \times 10^{-5}\ m^3/min$$

**معدل الكتلة المنسابة (كثافة الماء = $1000\ kg/m^3$)**

$$\rho Q_v = \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2$$
$$= 3.14 \times 10^{-5} \times 10^3 = 3.14 \times 10^{-2}\ kg/s$$

**الكتلة المنسابة فى دقيقة :**

$$M' = 3.14 \times 10^{-5} \times 10^3 \times 60 = 1.884\ kg/min$$

**٢– تكون السرعة المتوسطة لتدفق الدم فى الأورطى لشخص بالغ نصف قطره = 0.7 cm هى 0.33 m/s، ومن الأورطى يتوزع الدم على عدد من الشرايين الرئيسية (نصف قطر كل منها 0.35 cm ) فإذا كان عدد الشرايين الرئيسية 30 فاحسب سرعة الدم فيها.**

الحل:

مساحة مقطع الأورطى $A_1 = \pi r_1^2 = \pi (0.007)^2 \ m^2$

مساحة مقطع الشرايين الرئيسية الثلاثين $A_2 = \pi r_2^2 \times 30$

$$= \pi (0.0035)^2 \times 30 \ m^2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\pi (0.007)^2 \ (0.33) = \pi \ (0.0035)^2 \ (30) \ v_2$$

$$v_2 = \frac{4 \times 0.33}{30} = 0.044 \ m/s$$

أى أن سرعة الدم فى الشرايين الرئيسية تساوى 0.044 m/s ، وبالتالى تكون سرعة الدم فى الشعيرات الدموية بطيئة جدًا ، الأمر الذى يتيح حدوث عمليات تبادل غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فى الأنسجة ، فضلا عن تزويدها بالمواد الغذائية. وهنا تتجلى قدرة الله الخالق . «سبحانه وتعالى عما يشركون» صدق الله العظيم.

## اللزوجة Viscosity :

يمكن إدراك معنى اللزوجة مما يلى :

١- نعلق قمعين متماثلين كلا فى حامل، ثم نضع أسفل كل منهما كأسًا فارغة، نصب فى أحد القمعين حجمًا معينًا من الكحول، ونصب فى الآخر حجمًا مماثلًا من الجليسرين. ونلاحظ سرعة انسياب كل من السائلين.

نجد أن سرعة إنسياب الكحول أكبر من سرعة إنسياب الجليسرين، أو بعبارة أخرى، تكون قابلية الكحول للإنسياب أكبر من قابلية الجليسرين لذلك.

٢- نأخذ كأسين متماثلين يحتوى إحداهما على حجم معين من الماء، وتحتوى الأخرى على حجم مساوٍ من العسل. نقلب السائل فى كل من الكأسين بساق من الزجاج. ونلاحظ فى أى السائلين تكون حركة الساق أسهل. ثم نخرج الساق من السائل ونلاحظ حركة كل من السائلين بعد إخراج الساق نجد أن :

أ – تتحرك الساق فى الماء بسهولة أكبر مما يدل على أن مقاومة الماء لحركة ساق الزجاج أقل من مقاومة العسل لها.

ب – تتوقف حركة العسل بعد إخراج الساق بفترة وجيزة فى حين تستمر حركة الماء فترة أكبر.

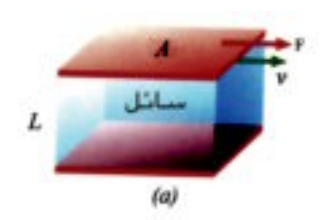
٣– نأخذ مخبارين متماثلين طويلين ، ونملأ المخبار الأول حتى قرب فوهته بالماء، والثانى حتى قرب فوهته بالجليسرين، ثم نأخذ كرتين معدنيتين متماثلتين (من الصلب مثلا) ونلقى إحداهما برفق فى الماء، ونعين بواسطة ساعة إيقاف الزمن الذى تستغرقه الكرة لتصل إلى قاع المخبار. ونلقى الأخرى برفق فى الجليسرين، ونعين الزمن الذى تستغرقه لتصل إلى قاع المخبار.

نجد أن الزمن الذى تستغرقه الكرة لتصل إلى قاع المخبار خلال الماء أقل من الزمن الذى تستغرقه كرة مماثلة لتصل إلى قاع المخبار خلال الجليسرين، مما يدل على أن الجليسرين يقاوم حركة الكرة بمقدار أكبر من مقاومة الماء لها.

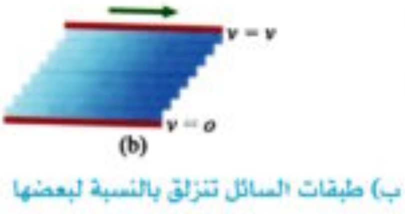
ومما سبق يمكن استخلاص ما يلى :

١– بعض السوائل كالماء، والكحول تكون قابليتها للإنسياب أو الحركة كبيرة فى حين أن مقاومتها لحركة الجسم فيها صغيرة وهى ذات لزوجة صغيرة.

٢– بعض السوائل كالعسل والجليسرين تكون قابليتها للإنسياب أو الحركة صغيرة فى حين أن مقاومتها لحركة الأجسام فيها كبيرة وهى ذات لزوجة عالية.




أ) قوة تؤثر على الطبقة العليا للسائل




ب) طبقات السائل تنزلق بالنسبة لبعضها

شكل (٤ – ٦)
الاحتكاك بين طبقات السائل

ولتفسير خاصية اللزوجة نتصور كمية من السائل محصورة بين لوحين مستويين أحدهما ساكن أما الآخر فيتحرك بسرعة v (شكل ٥–٦). طبقة السائل الملامس للوح الساكن يكون ساكنا بينما يتحرك طبقة السائل الملامس للوح المتحرك بنفس سرعته وهى v ، وتتحرك طبقات السائل بين اللوحين بسرعات تتراوح من الصفر إلى v تتزايد من اللوح الساكن إلى اللوح المتحرك، حيث تكون سرعة كل طبقة أقل من سرعة الطبقة التى تعلوها، ويرجع هذا الاختلاف النسبى فى السرعة إلى ما يلى :

( أ ) توجد قوى احتكاك بين السطح المستوى للوح السفلى وطبقة السائل الملاصقة له. وتعزى هذه القوى إلى التلاصق بين جزيئات سطح المستوى الصلب وجزيئات السائل المجاور لها مباشرة، فتمسك بها وتعوق إنسيابها، فتبدو هذه الطبقة ساكنة عديمة الحركة، ولنفس السبب تتحرك الطبقة العليا للسائل بنفس سرعة اللوح العلوى.

(ب) توجد قوى شبيهة بقوى الإحتكاك بين كل طبقة من طبقات السائل والطبقة التى تعلوها، فتعوق انزلاق بعضها فوق بعض، مما ينشأ عنه فرق نسبى فى السرعة بين كل طبقة والتى تعلوها، ويسمى هذا النوع منه السريان السريان الطبقى Laminar Flow أو السريان اللزج Viscous Flow . واللزوجة هى تلك الخاصية التى تتسبب فى وجود مقاومة أو احتكاك بين طبقات السائل بحيث تعوق انزلاق بعضها فوق بعض.

## معامل اللزوجة :

بالرجوع إلى الشكل (٤-٦) نجد أنه لكى يحتفظ اللوح المتحرك بسرعة ثابتة، فلابد من وجود قوة مماسية (F). هذه القوة تتناسب طرديا مع كل من السرعة (v) ومساحة اللوح المتحرك (A) وتتناسب عكسيا مع المسافة الفاصلة بين اللوحين (d)

$$F \propto \frac{Av}{d}$$

وبالتالى يكون

$$F = \eta_{vs} \frac{Av}{d} \qquad (4\text{-}3)$$

حيث $\eta_{vs}$ (إيتا) ثابت التناسب ويعرف بمعامل اللزوجة.

$$\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av} = \frac{F}{Av/d} \qquad (4\text{-}4)$$

ويمكن من هذه العلاقة تعريف معامل اللزوجة كما يلى :

معامل اللزوجة لسائل : هو القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحات، ينتج عنها فرق فى السرعة مقداره وحدة السرعة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما وحدة المسافة.

ووحدته kg/ms أو $N\ s/m^2$

## تطبيقات لخاصية اللزوجة :

للزوجة تطبيقات كثيرة منها :

### أ - التزييت والتشحيم :

ينبغى تشحيم أو تزييت الآلات المعدنية من وقت لآخر حيث تؤدى عملية التشحيم إلى :

١- نقص كمية الحرارة المتولدة أثناء الاحتكاك.

٢- حماية أجزاء الآلة من التآكل.

وتتم عملية التزييت باستخدام أنواع من الزيوت تتميز بلزوجتها الكبيرة، إذ أننا لو استخدمنا الماء فى عملية التزييت وهو من المواد ذات اللزوجة الصغيرة فإنه سرعان ما ينساب بعيدا عن أجزاء الآلة لضعف قوة التصاقه بها أثناء حركتها. لذلك كان من الطبيعى أن نستخدم سوائل تتميز بقدرتها على الالتصاق بأجزاء الآلة وعدم انسيابها بسرعة رغم الحركة الدائبة لتلك الأجزاء، ومن هنا كانت ضرورة استخدام مواد ذات لزوجة كبيرة فى عملية التزييت.

### (ب) المركبات المتحركة :

عندما تبلغ السيارة سرعتها القصوى، فإن الشغل الكلى الذى تبذله الآلة والمستمد من الوقود المستهلك يعمل معظمه ضد مقاومة الهواء للسيارة أثناء حركتها خلاله، وأيضا ضد قوة الإحتكاك بين اطارات السيارة والأرض. وفى السرعات الصغيرة نسبيا أو المتوسطة فإن مقاومة الهواء للأجسام المتحركة فيه والناتجة عن لزوجة الهواء تتناسب طرديا مع سرعة الأجسام المتحركة خلاله. وعندما تزداد سرعة السيارة عن حد معين فإن مقاومة الهواء لا تتناسب مع سرعتها فقط وإنما مع مربع السرعة. ويعنى هذا أن استهلاك الوقود يزداد معدله مع زيادة السرعة عن هذا الحد المذكور، ولذلك يلجأ قائد السيارة الخبير إلى الحد من سرعتها لتوفير استهلاك الوقود .

### (حـ) فى الطب :

### لقياس سرعة ترسيب الدم

من المعلوم أنه عند سقوط كرة سقوطًا حرًا رأسيًا فى سائل فإنها تتأثر بثلاث قوى وهى: وزنها لأسفل، وقوة دفع السائل لها لأعلى، وقوة الإحتكاك بينها وبين السائل لأعلى نتيجة لزوجة السائل. وبحساب محصلة القوى وجد أنها تتحرك بسرعة نهائية تزداد بزيادة نصف قطرها.

ويمكن استخدام ذلك فى الطب بأخذ عينة من الدم وقياس سرعة ترسيبها. وبذلك يمكن للطبيب معرفة إذا كان حجم كرات الدم طبيعيا أم لا . فعلى سبيل المثال، فى حالة الإصابة بالحمى الروماتزمية فإنه يحدث زيادة فى سرعة ترسيب الدم. وذلك نتيجة لالتصاق كرات الدم الحمراء ببعضها، فيزداد حجمها ونصف قطرها، وبالتالى تزداد سرعة الترسيب. أما فى حالة الإصابة بالأنيميا فتقل سرعة الترسيب عن المعدل الطبيعى حيث يحدث تكسير لكرات الدم الحمراء فيقل حجمها ونصف قطرها.

تلخيص

## أولا : التعاريف والمفاهيم الأساسية :

- المائع، كل مادة قابلة للإنسياب ولا تتخذ شكلًا محددا بذاته.
- الانسياب المستقر فى الأنابيب يتطلب:

( أ ) يملأ السائل الأنبوبة تمامًا.

(ب) تكون كمية السائل التى تدخل الأنبوبة عند أحد طرفيها مساوية لكمية السائل التى تخرج منها عند الطرف الآخر فى نفس الزمن.

- اللزوجة : هى الخاصية التى تتسبب فى وجود مقاومة أو احتكاك بين طبقات السائل تعوق انزلاق بعضها فوق البعض.
- معامل اللزوجة : هو القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحات ينتج عنها فرق فى السرعة مقداره الوحدة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما الوحدة. وحدة معامل اللزوجة $kgm^{-1}s^{-1}$

## ثانيا : القوانين والعلاقات الهامة :

- حجم السائل المنساب بسرعة v خلال المساحة A فى وحدة الزمن $Q = Av$
- معادلة الاستمرارية هى : $A_1 v_1 = A_2 v_2$
- معامل اللزوجة لمائع ( $\eta_{vs}$ ) يتعين من العلاقة $\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av}$

حيث F القوة المماسية بين طبقتين من السائل A مساحة الطبقة المتحركة، v سرعة الطبقة المتحركة، $d$ المسافة الفاصلة بين الطبقتين الساكنة والمتحركة.

## أسئلة وتمارين

### أولا - عرف كلًا مما يأتى :

١- المائع　　٢- اللزوجة　　٣- معامل اللزوجة

### ثانيًا - أسئلة المقال :

١- أثبت أن سرعة السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة تتناسب عكسيا مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة.

٢- اشرح ظاهرة اللزوجة.

٣- اشرح بعض التطبيقات لخاصية اللزوجة.

### ثالثا - التمارين :

١- يسرى ماء فى أنبوبة أفقية بمعدل ثابت $0.002\ m^3/s$ أحسب سرعة الماء خلال الأنبوبة إذا كان مساحة مقطعها $1\ cm^2$　(20 m/s)

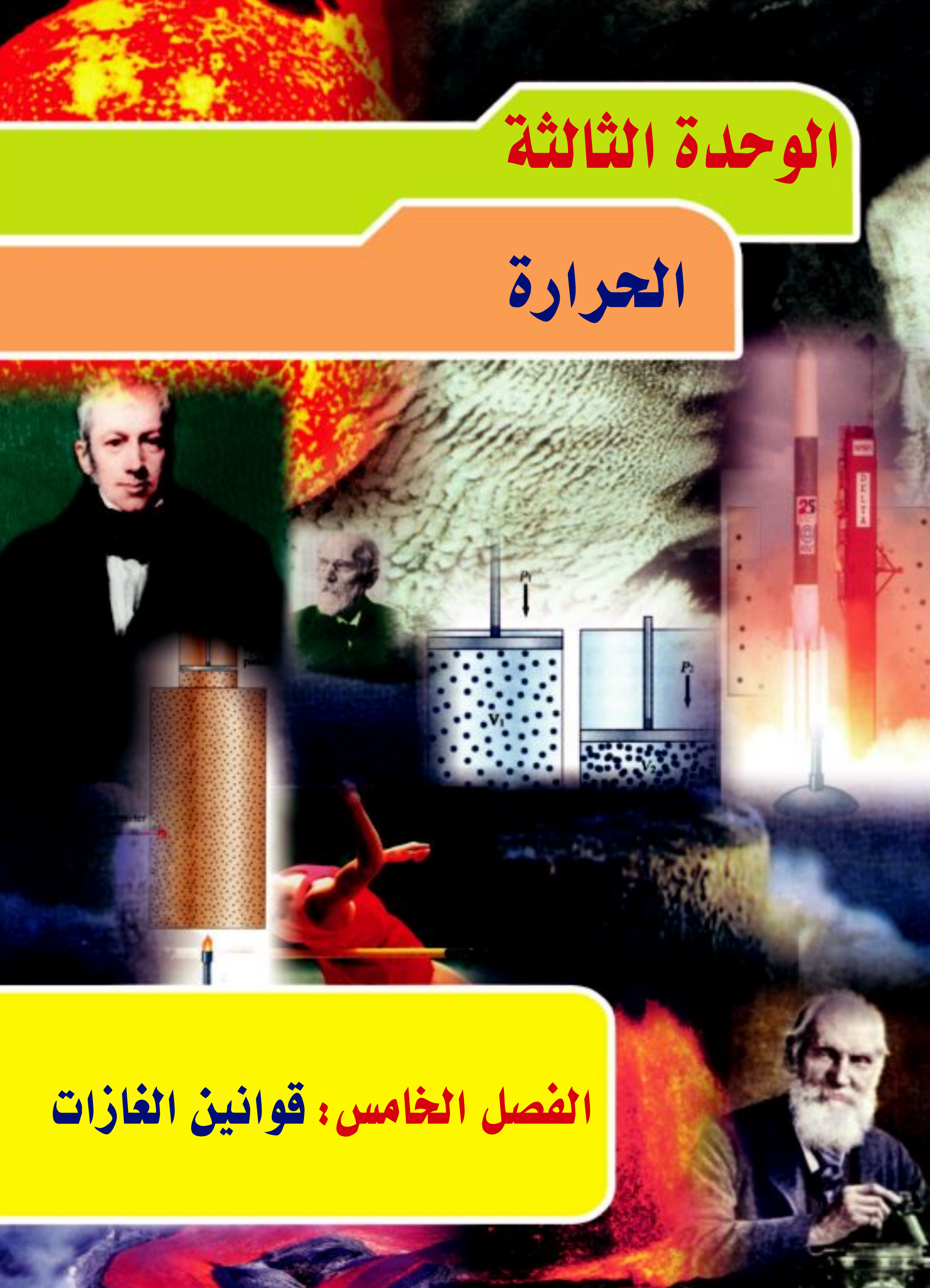
٢- يمر ماء خلال أنبوبة من المطاط قطرها 1.2 cm بسرعة 3 m/s أحسب قطر فوهتها إذا كانت سرعة خروج الماء منها 27 m/s　(0.4 cm)

٣- شريان رئيسى يتشعب إلى 80 شعيرة نصف قطر كل منها 0.1 mm فإذا كان نصف قطر الشريان 0.035 cm وسرعة سريان الدم به 0.044 m/s احسب سرعة تدفق الدم فى كل شعيرة دموية

(0.0067 m/s)

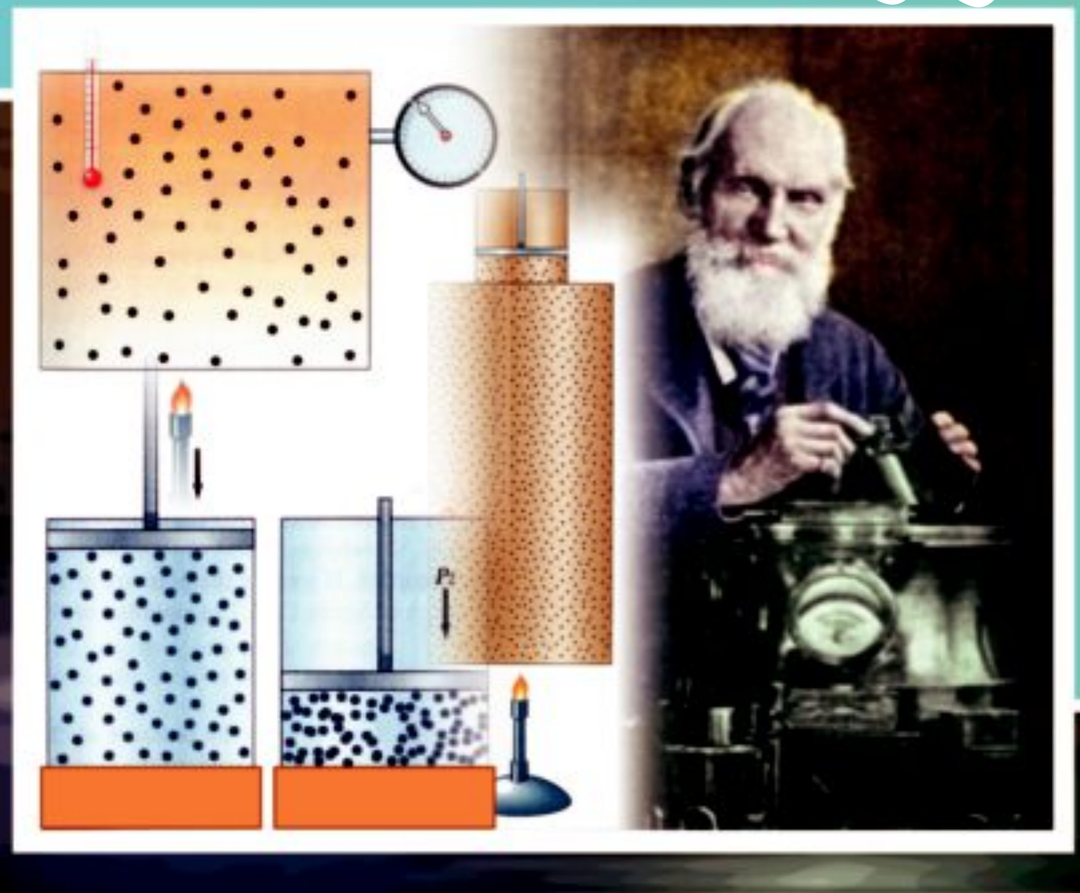
٤- مساحة مقطع أنبوبة عند نقطة مثل A تساوى $10\ cm^2$ وعند نقطة أخرى مثل $B$ تساوى $2\ cm^2$ فإذا كانت سرعة الماء عند $A$ تساوى 12 m/s أحسب سرعته عند $B$　(60 m/s)

٥- مساحة مقطع أنبوبة مياه تدخل الطابق الأرضى هى $4 \times 10^{-4}\ m^2$ ، وكانت سرعة الماء 2m/s عندما تضيق هذه الأنبوبة بحيث تصبح مساحة مقطعها فى النهاية $2 \times 10^{-4}\ m^2$ أحسب سرعة إنسياب الماء فى الطابق العلوى.　(4 m/s)


الوحدة الثالثة
الحرارة
الفصل الخامس: قوانين الغازات

# الحرارة

## الوحدة الثالثة



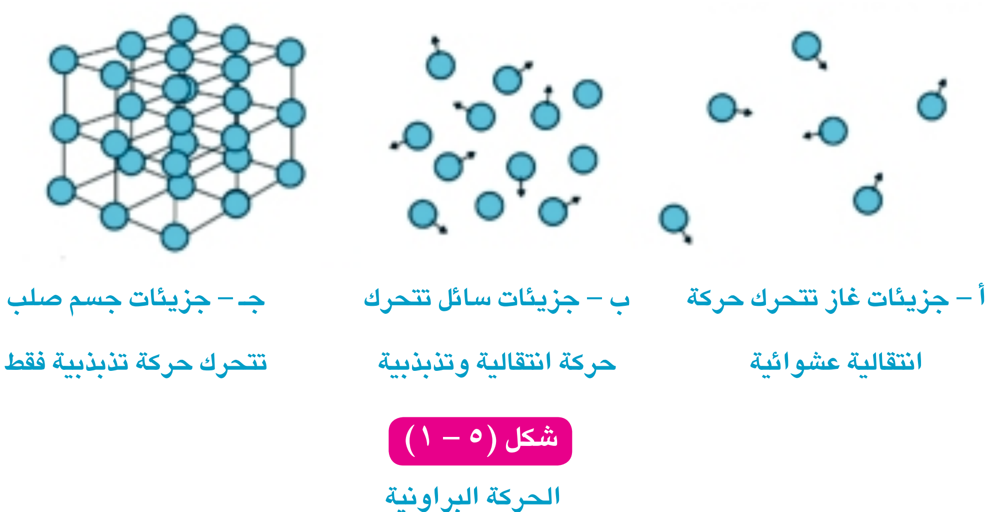
# الفصل الخامس: قوانين الغازات

الفصل الخامس

# قــوانيـــن الغـــازات

## مقدمة :

يمكن إدراك أن جزيئات الغاز فى حالة حركة عشوائية مستمرة من خلال دراسة الحركة البراونية كمايلى :



أ – جزيئات غاز تتحرك حركة انتقالية عشوائية

ب – جزيئات سائل تتحرك حركة انتقالية وتذبذبية

جـ – جزيئات جسم صلب تتحرك حركة تذبذبية فقط

شكل (٥ – ١)

الحركة البراونية

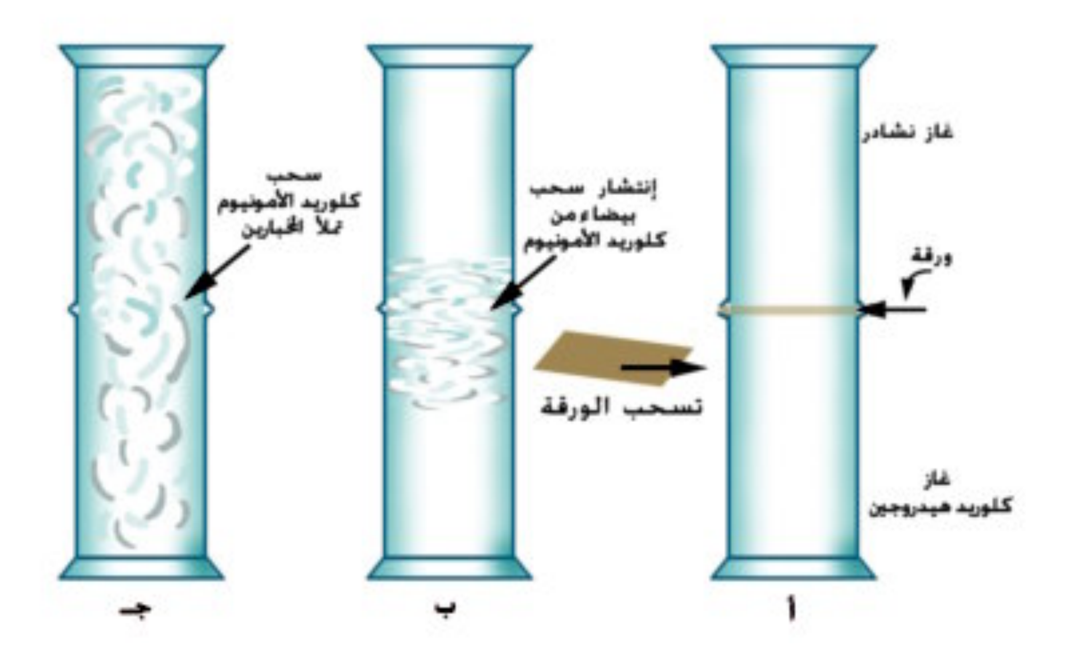
إذا فحصنا دخاناً متصاعداً من شمعة بواسطة الميكروسكوب لوجدنا دقائق الكربون المكونة للدخان تتحرك هنا وهناك حركات عشوائية،وحركة دقائق الكربون هذه تعرف بالحركة البراونية، إذ كان براون Brown عالم نبات اسكتلندى أول من اكتشف عام ١٨٢٧م أن حبوب اللقاح المعلقة في الماء تكون دائماً في حركة عشوائية.

## تفسير الحركة البراونية :

تتحرك جزيئات الهواء ( أو أى غاز) بسرعات مختلفة وفي جميع الإتجاهات بطريقة عشوائية. وأثناء حركتها تلك تصطدم مع بعضها البعض،كما تصطدم مع دقائق الكربون المكونة للدخان. وعندما يكون عدد التصادمات مع أحد جوانب دقيقة الكربون في لحظة معينة اكبر من عدد التصادمات مع الجانب المقابل، فإن دقيقة الكربون سوف تتحرك فى اتجاه معين لمسافة قصيرة. والسبب فى ذلك ان جزيئات الغاز – بعكس المواد الصلبة – حرة الحركة ، ودائمة التصادم ، فتغير اتجاها عشوائيًا بفعل الحرارة (شكل ٥–١)

ويمكن أن نستخلص من ذلك مايلى :

جزيئات الغاز فى حالة حركة عشوائية مستمرة، وأثناء حركتها تتصادم مع بعضها البعض كما تتصادم مع جدران الإناء الذى يحتويها.




شكل (٥ – ٢)

توضيح وجود المسافات البينية بين جزيئات الغاز

–ويمكن إدراك وجود مسافات فاصلة بين جزيئات الغاز تعرف بالمسافات الجزيئية كما يلي:

إذا أخذنا مخباراً مليئاً بغاز النشادر ونكسناه فوق مخبار آخر مليء بغاز كلوريد الهيدروجين(شكل ٥–٢)، عندئذ سنشاهد تكون سحابة بيضاء من كلوريد الأمونيوم تأخذ فى النمو والانتشار حتى تملأ كل حيز المخبارين. يفسر ما حدث بأن جزيئات غاز كلوريد الهيدروجين – رغم كونه أكبر كثافة – تنتشر إلى أعلى متخللة مسافات فاصلة بين جزيئات غاز النشادر، حيث تتحد مع جزيئاته مكونه كلوريد الأمونيوم الذي تنتشر جزيئاته لتملأ المخبار العلوى . كما تنتشر جزيئات النشادر– رغم كونه أقل كثافة إلى أسفل خلال المسافات الفاصلة بين جزيئات غازكلوريد الهيدروجين، حيث تتحد مع جزيئاته مكونة كلوريد الأمونيوم الذى تنتشر جزيئاته لتملأ المخبار السفلي.

ومما سبق نستخلص أن جزيئات الغاز بينها مسافات فاصلة كبيرة نسبيًا تعرف بالمسافات الجزيئية. ويؤكد هذا قابلية الغازات للانضغاط، حيث تسمح المسافات الجزيئية الكبيرة نسبيًا بتقارب جزيئات الغاز عند تعرضها للضغط، فيقل الحجم الذى يشغله الغاز.

## قوانين الغازات:

أصبح من المؤكد أن التجارب التي تجرى لقياس التمدد الحراري لغاز ما معقدة لأن حجم الغاز يمكن أن يتغير بتغير كل من الضغط أو درجة الحرارة أو كليهما، مثل هذه الصعوبة لا تظهر في حالة الجوامد أو السوائل لأن قابليتها للانضغاط صغيرة جداً ويمكن إهمالها.

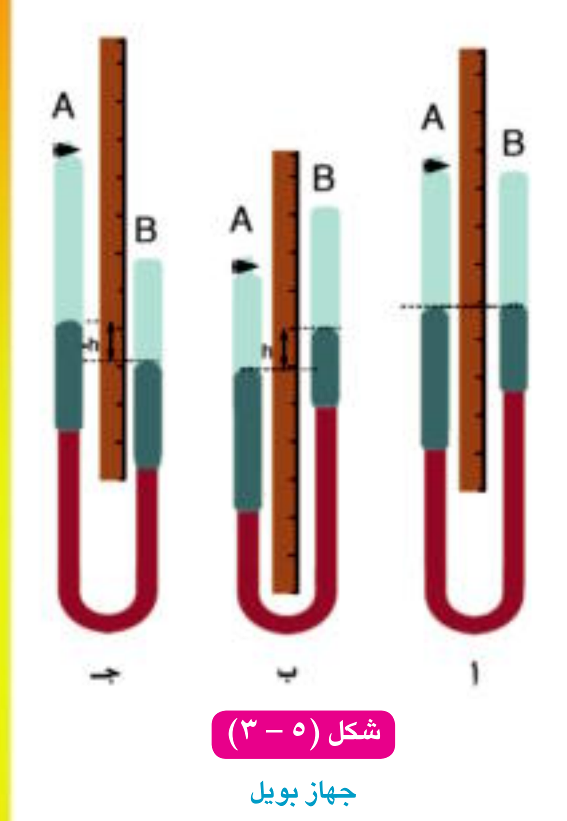
ولإجراء دراسة تامة حول سلوك غاز ما، ينبغي أن نأخذ في الاعتبار وجود ثلاثة متغيرات هي الحجم والضغط ودرجة الحرارة. لذلك توجد ثلاث تجارب منفصلة،كل منها تستخدم لدراسة العلاقة بين متغيرين فقط مع تثبيت المتغير الثالث هذه التجارب هى :

١ – العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته (قانون بويل).

٢ – العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه (قانون شارل).

٣ – العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط أو قانون جولى).

وسنتناول فيمايلى دراسة كل من العلاقات الثلاث.




شكل (٥ – ٣)

جهاز بويل

## أولاً:العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته (قانون بويل):

– لدراسة العلاقة بين حجم مقدار معين من الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته، يستخدم الجهاز الموضح في الشكل (٥ –٣) ويتكون من أنبوبة زجاجية(A) تشبه سحاحة مقلوبة يبدأ تدريجها من أعلى تتصل الأنبوبة (A) بأنبوبة أخرى (B) من الزجاج بواسطة أنبوبة من المطاط، وتحتوي الأنبوبتان على كمية مناسبة من الزئبق.

ويحمل الأنبوبتين قائم رأسي مثبت على قاعدة أفقية ترتكز على ثلاثة مسامير محواة يمكن بواسطتها جعل القائم رأسيًا تمامًا . والأنبوبة (B) قابلة للحركة على طول القائم الرأسى إلى أعلى أو إلى أسفل ويمكن تثبيتها فى أى موضع.

وتتبع الخطوات الآتية:

١ - نفتح صنبور الأنبوبة (A) مع تحريك الأنبوبة (B) إلى أعلى أو أسفل حتى يصبح سطح الزئبق فى الأنبوبة (A) عند منتصفها (شكل ٥ -٣ أ)

ونظرًا لأن الأنبوبتين مفتوحتان يكون سطحا الزئبق فيهما فى مستوى أفقى واحد.

٢ - نغلق صنبور الأنبوبة (A) ونقيس حجم الهواء المحبوس وليكون $(V_{ol})_1$ وضغطه وليكن $P_1$ يساوى الضغط الجوى $P_a$ cmHg الذى نعينه بواسطة البارومتر.

٣ - نحرك الأنبوبة (B) إلى أعلى مسافة مناسبة (عدة سنتيمترات)، وعندئذ نقيس حجم الهواء المحبوس وليكن $(V_{ol})_2$ ، ونقيس فرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الأنبوبتين وليكن h .وعندئذ يكون ضغط الهواء المحبوس هو $P_2=P_a+h$ (شكل ٥ - ٣ ب).

٤ - تكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل بتحريك الأنبوبة (B) إلى أعلى مسافة مناسبة أخرى ونعين $P_3$ ، $(V_{ol})_3$ بنفس الكيفية.

٥ - نحرك الأنبوبة (B) إلى أسفل حتى يصبح سطح الزئبق فى الأنبوبة (B) أقل من سطح الزئبق فى الأنبوبة (A) بعدة سنتيمترات وعندئذ نقيس حجم الهواء المحبوس وليكن $(V_{ol})_4$ وضغطه $P_4$ هو $P_4=P_a-h$ ، حيث h فرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الأنبوبتين (شكل ٥ - ٣ جـ)

٦ - نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل بتحريك الأنبوبة (B) إلى أسفل مسافة أخرى ونوجد $P_5$ ، $(V_{ol})_5$ بنفس الكيفية.

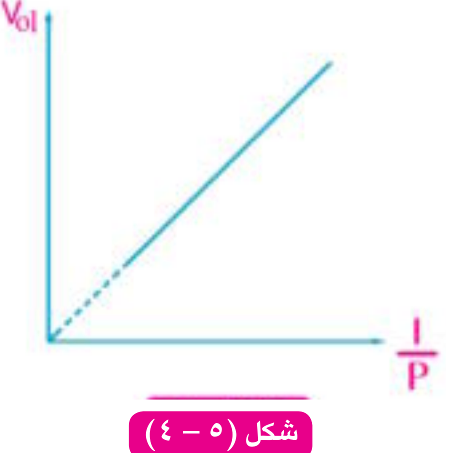
٧- نرسم علاقة بيانية بين حجم الغاز $V_{ol}$ ممثلًا على المحور الرأسى ومقلوب الضغط ( $\frac{1}{P}$ ) ممثلا على المحور الأفقى نحصل على خط مستقيم كما فى الشكل (٥ - ٤)

ومن هذه العلاقة البيانية نتبين أن:

$$V_{ol} \propto \frac{1}{P}$$

ومن هذه العلاقة يكون :

حجم مقدار معين من غاز يتناسب تناسبًا عكسيًا مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته وهذا هو نص قانون بويل




شكل (٥ - ٤)

العلاقة بين حجم الغاز ومقلوب الضغط

ويمكن صياغة قانون بويل بكيفية أخرى حيث يكون $V_{01} = \frac{const}{P}$ أى أن:

$$P V_{ol} = const \qquad (5\text{-}1)$$

عند ثبوت درجة الحرارة يكون حاصل الضرب $PV_{01}$ لكمية معينة من غاز مقدارًا ثابتًا.

## أثر الحرارة في حجم الغاز عند ثبوت ضغطه:




شكل (٥ – ٥)

أثر الحرارة فى حجم الغاز مع ثبوت الضغط

نعلم أن الغازات تتمدد بالحرارة وتنكمش بالبرودة.

ولكن هل تتمدد الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة وهى تحت ضغط ثابت بمقادير مختلفة، أم بمقادير متساوية؟

لإدراك ذلك نجرى التجربة الآتية:

١– نأخذ دورقين متساويين في الحجم تماماً وفوهة كل منهما مسدودة بسدادة تنفذ منه أنبوبة زجاجية منثنية على زاوية قائمة بها زئبق على شكل خيط طوله 2cm أو 3cm ، وليكن أحدهما مملوءًا بالأكسجين والآخر مملوءًا بالهواء أو ثانى أكسيد الكربون ثم اغمرهما فى حوض به ماء كما فى شكل (٥ – ٥).

٢– أضف إلى ماء الحوض قليلاً من الماء الساخن ولاحظ مقدار المسافة التى يتحركها خيط الزئبق فى كل منهما.

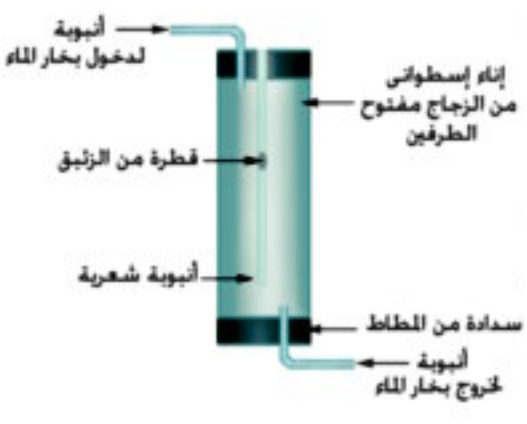
نلاحظ أن خيطى الزئبق يتحركان مسافتين متساويتين مما يدل على أن الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد بمقادير متساوية إذا ارتفعت درجة حرارتها بنفس المقدار مع ثبوت ضغطها ومن ثم نتوقع أن يكون معامل التمدد الحجمى لها واحدًا.

معامل التمدد لغاز تحت ضغط ثابت:

« هو مقدار الزيادة فى وحدة الحجوم من الغاز وهى فى درجة $0^oC$ إذا ارتفعت درجة حرارتها درجة واحدة مئوية مع بقاء ضغطها ثابتًا » ويرمز لها بالرمز $(\alpha_v)$

## ثانياً: العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه (قانون شارل):

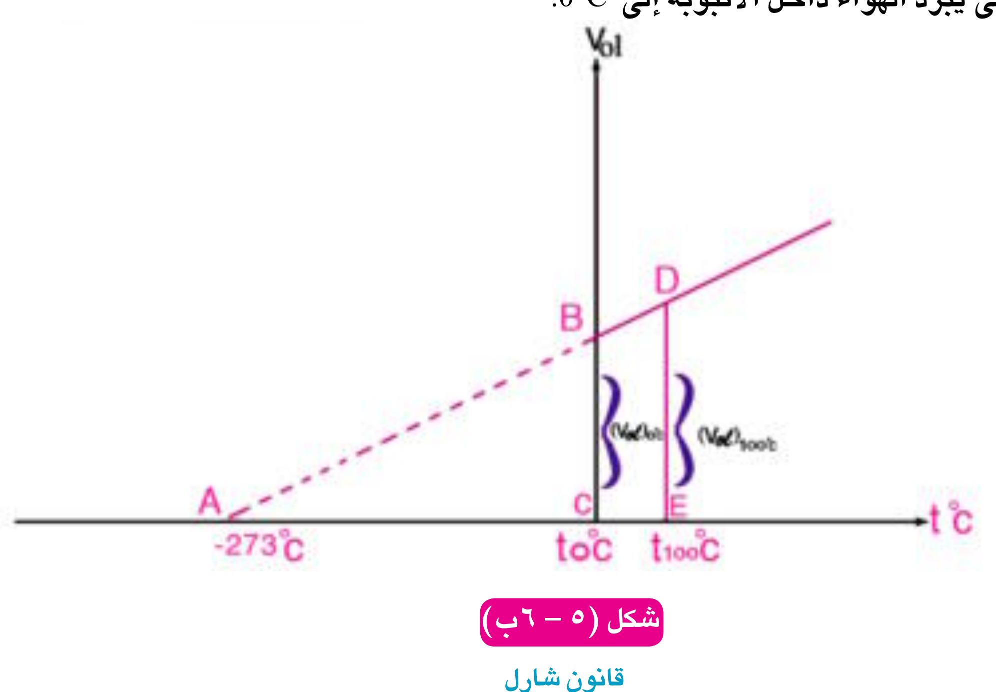
لدراسة العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته ثبوت ضغطه يستخدم جهاز شارل المبين بالشكل (٥-٦أ)، ويتركب من أنبوبة زجاجية طولها 30cm وقطرها حوالي 1mm مقفلة من أحد طرفيها. بها قطرة من الزئبق تحبس كمية من الهواء داخل الأنبوبة، والأنبوبة مثبتة مع ترمومتر على مسطرة مدرجة داخل إناء أسطواني من الزجاج وتتبع الخطوات الآتية:




شكل (٥ - ٦)

جهاز شارل

١ - يوضع الجهاز السابق داخل غلاف من الزجاج، ويملأ الغلاف بجليد مجروش أخذ فى الانصهار ويترك فترة مناسبة حتى يبرد الهواء داخل الأنبوبة إلى 0°C.




شكل (٥ - ٦ب)

قانون شارل

علاقة الحجم بدرجة الحرارة عند ثبوت الضغط

٢ - يقاس طول عمود الهواء المحبوس الذى يتخذ مقياسًا لحجمه $(V_{01})_{0°C}$ نظرًا لأن الأنبوبة منتظمة المقطع.

٣ – يفرغ الغلاف من الجليد والماء ، ثم يمرر بخار ماء فى الغلاف من أعلى إلى أسفل مع الانتظار مدة مناسبة حتى تصبح درجة حرارة الهواء المحبوس $100^oC$ ويقاس طول عمود الهواء المحبوس ، ويتخذ مقياسًا لحجمه وليكن $(V_{01})_{100^oC}$

٤ – ترسم علاقة بين الحجم $V_{01}$ ودرجة الحرارة (شكل ٥ – ٦ ب) نجد أن هذه العلاقة خط مستقيم وإذا مددنا هذا الخط ، فإنه يقطع المحور الأفقى عند قيمة $-273^oC$

٥ – يعين معامل التمدد الحجمى للهواء عند ثبوت ضغطه من العلاقة:

$$\alpha_V = \frac{(V_{ol})_{100^\circ C} - (V_{ol})_{0^\circ C}}{(V_{ol})_{0^\circ C} \times 100^\circ C} \qquad (5\text{-}2)$$

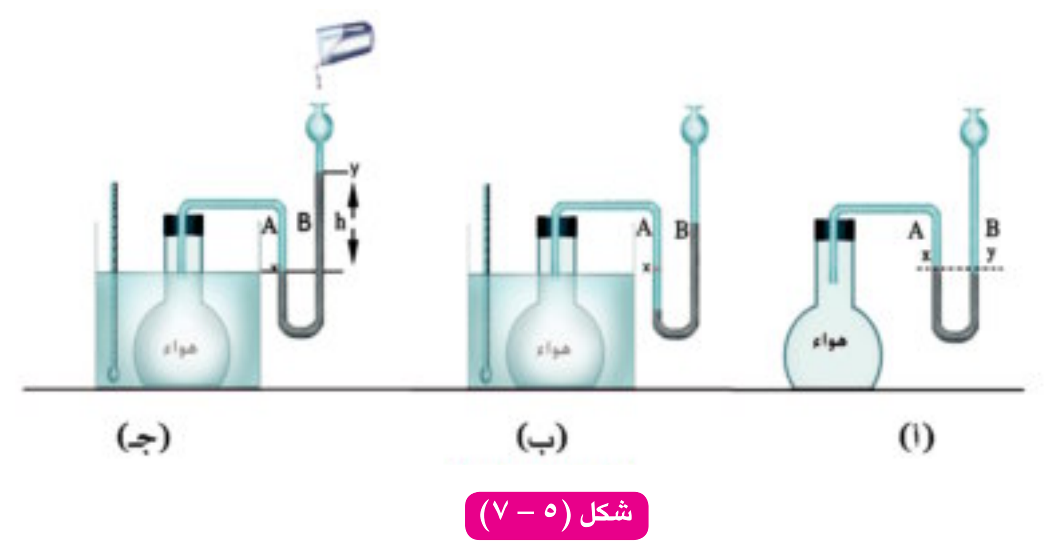
وقد وجد عمليًا أن معامل التمدد الحجمى للهواء $\alpha_V$ يساوى $\frac{1}{273}$ لكل درجة ، ونظرًا لأن الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد تحت ضغط ثابت بمقادير متساوية يكون لمعامل التمدد الحجمى للغازات المختلفة نفس القيمة . هذه النتيجة صاغها شارل كما يلى:

### قانون شارل

عند ثبوت الضغط يزداد حجم كمية من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمها الأصلى عند $0^oC$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره درجة واحدة ولا تختلف هذه القيمة من غاز لآخر.

### أثر الحرارة فى ضغط الغاز عند ثبوت حجمه:

١ – لدراسة تأثير الحرارة على ضغط غاز ما عند ثبوت حجمه ، نأخذ دورقًا زجاجيًا مسدودًا بسدادة تنفذ منها أنبوبة ذات شعبتين (B) ،(A) كالمبينة فى شكل (٥ – ٧) نلاحظ أن الأنبوبة تحتوى على كمية مناسبة من الزئبق يستقر سطحاه فى الشعبتين (B) ، (A) فى مستوى أفقى واحد عند (X) ، (Y) لذلك يكون ضغط الهواء المحبوس فى الدورق مساويًا للضغط الجوى ثم نعين درجة حرارة الهواء ولتكن $t_1{}^oC$ شكل (٥ – ٧أ)




شكل (٥ – ٧)

اثر الحرارة علي الضغط عند ثبوت الحجم.

٢ – نغمر الدورق فى حوض به ماء دافئ درجة حرارته $t_2$°C نلاحظ أن سطح الزئبق يبدأ فى الانخفاض فى الشعبة (A) ، بينما يرتفع فى الشعبة (B)(شكل ٥ – ٧ ب)

٣ – نصب زئبقًا فى القمع حتى يعود سطح الزئبق فى الشعبة (A)إلى العلامة (X) حتى يتساوى حجم الهواء المحبوس فى الدورق وهو فى ($t_2$°C) مع حجمه وهو فى ($t_1$°C)

٤ – نلاحظ أن سطح الزئبق فى الشعبة (B) يعلو عن سطحه فى (A) بمقدار معين وليكن h(cm) مما يدل على أن ضغط الهواء المحبوس قد ازداد نتيجة لارتفاع درجة الحرارة من $t_1$°C إلى $t_2$°C بمقدار يساوى h(cm Hg) (شكل ٥ – ٧ جـ).

٥ – وإذا أجرينا التجربة السابقة عدة مرات مع ملء الدورق بغاز مختلف فى كل مرة وتم تعيين مقدار الزيادة فى ضغط الغاز مع ثبوت حجمه بارتفاع درجة الحرارة لنفس المقدار فإننا نتبين مايلى:

١ – عند ثبوت حجم الغاز يزداد ضغطه بارتفاع درجة الحرارة.

٢ – عند ثبوت الحجم تزداد الضغوط المتساوية للغازات المختلفة بنفس المقدار إذا ارتفعت درجة حراراتها بمقادير متساوية .

معامل الزيادة فى الضغط هو مقدار الزيادة فى وحدة الضغط المقاسة عند درجة 0°C إذا رفعت درجة حرارتها درجة واحدة عند ثبوت الحجم.

## ثالثًا : العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط)

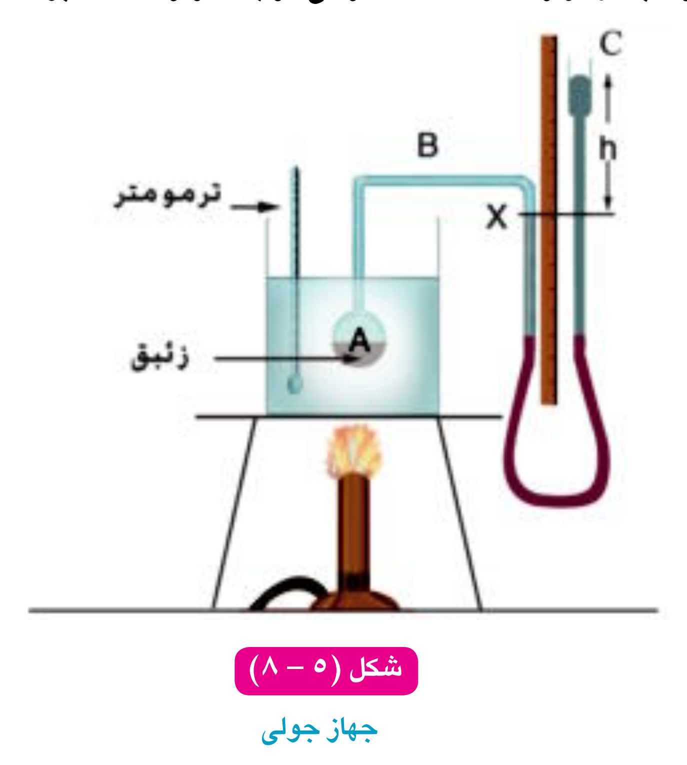
وجد عمليًّا أن الزيادة فى ضغط الغاز تتناسب طرديًا مع الضغط الأصلى المقاس عند درجة ($P_0$°C) 0°C وكذلك مع الارتفاع فى درجة حرارته $\Delta t$ °C . ويعبر عن هذا كمايلى:

$$\Delta P \propto P_{0^\circ C}\, \Delta t\, ^\circ C$$

$$\Delta P = \beta_P P_{0^\circ C}\, \Delta t\, ^\circ C$$

$$\beta_P = \frac{\Delta P}{P_{0^\circ C}\, \Delta t^\circ C} \qquad (5\text{-}3)$$

حيث $\beta_P$ مقدار ثابت وهو زيادة ضغط الغاز مع درجة حرارته عند ثبوت حجمه.




شكل (٥ – ٨)

جهاز جولى

ولتعيين معامل زيادة ضغط الغاز عند ثبوت حجمه يستخدم جهاز جولى الموضح فى الشكل (٥–٨)، ويتركب من مستودع كروى (A) من الزجاج رقيق الجدران، يتصل بأنبوبة شعرية (B) طويلة ومنثنية على شكل زاويتين قائمتين ، وهو مثبت على لوحة رأسية مثبتة بدورها على قاعدة أفقية ترتكز على ثلاثة مسامير محواة. ويتصل طرف الأنبوبة الشعرية (B) بواسطة انبوبة من المطاط بأنبوبة متسعة نوعًا ما

وهى الأنبوبة (C) والأنبوبة (C) قابلة للحركة إلى أعلى أو إلى أسفل على اللوحة الرأسية وتوجد مسطرة مدرجة مثبتة على هذه اللوحة.

وتتبع خطوات العمل الآتية :

١ – نعين الضغط الجوى وقت التجربة باستخدام البارومتر.

٢ – ندخل فى المستودع (A) $\frac{1}{7}$ حجمه زئبقًا ليظل حجم الجزء المتبقى منه ثابتًا فى جميع درجات الحرارة (حيث أن معامل التمدد الحجمى للزئبق سبع أمثال معامل التمدد الحجمى للزجاج).

٣ – نغمر المستودع (A) فى كأس به ماء ثم نصب زئبقًا فى الفرع الخالص (C)حتى يرتفع سطحه في الفرع الآخر إلى علامة معينة (X)

٤ – نسخن الماء فى الكأس حتى يغلى وننتظر مدة مناسبة حتى تثبت درجة الحرارة ويقف انخفاض سطح الزئبق فى الفرع المتصل بالمستودع.

٥ – نحرك الفرع الخالص (C) إلى أعلى حتى يرتفع سطح الزئبق فى الفرع الآخر إلى نفس العلامة (X) ثم نقيس الفرق فى الارتفاع بين سطحى الزئبق في الفرعين وليكن (h) ومن ذلك نحدد ضغط الهواء المحبوس وليكن (P) وهو يساوى الضغط الجوى (cm Hg) مضافًا إليه الفرق فى الارتفاع (h)

٦ – نحرك الفرع (C) إلى اسفل ثم نوقف التسخين ونترك المستودع لتنخفض درجة حرارته إلى حوالى 90°C ، ثم نحرك الفرع (C) إلى أعلى حتى يرتفع سطح الزئبق فى الفرع المتصل بالمستودع إلى العلامة (X) ثم نعين درجة الحرارة وفرق الارتفاع بين سطحى الزئبق في الفرعين ومن ذلك نحسب ضغط الهواء المحبوس فى هذه الحالة.

٧ – نكرر العمل السابق عدة مرات عند درجات حرارة مختلفة وفى كل مرة نحسب ضغط الهواء المحبوس بنفس الكيفية السابقة.

٨ – نرسم علاقة بيانية بين درجات الحرارة ممثلة على المحور الأفقى والضغط ممثلًا على المحور الرأسى نجد أن العلاقة خط مستقيم، ثم نحسب معامل الزيادة في ضغط الغاز عند ثبوت حجمه من العلاقة :

$$\beta_P = \frac{P_{100°C} - P_{0°C}}{P_{0°C} \times 100} \qquad (5\text{-}4)$$

وقد وجد عمليًا أن معامل زيادة ضغط الهواء عند ثبوت حجمه يساوى $\frac{1}{273}$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره درجة واحدة . ولقد وجد أن معامل زيادة ضغط الغازات المختلفة عند ثبوت حجومها يكون له نفس القيمة.

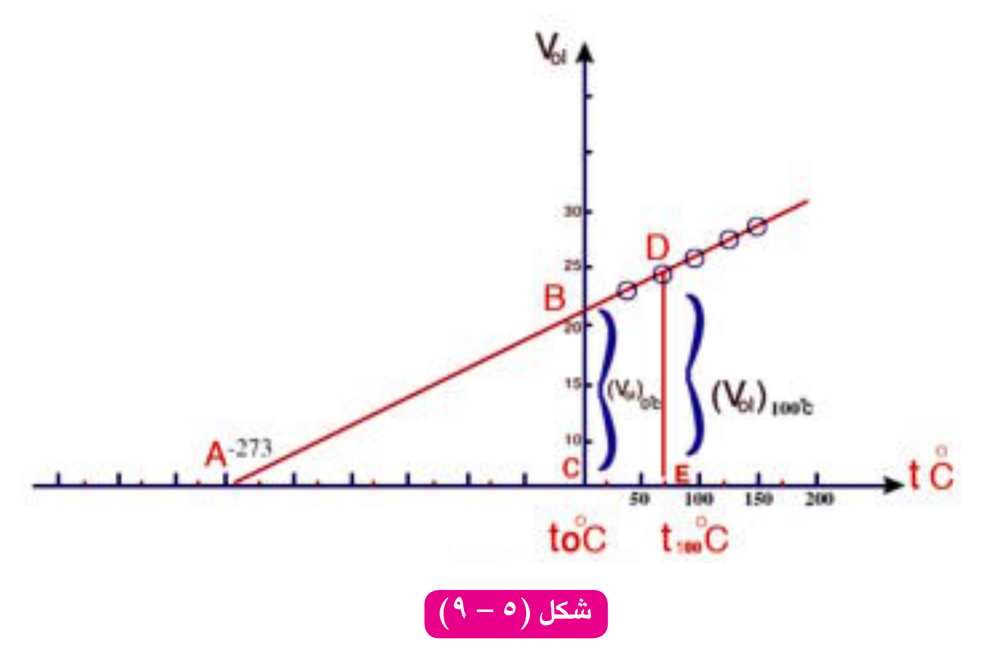
ويمكن من نتائج التجربة السابقة أن نتوصل إلى مايلى:

عند ثبوت الحجم يزداد ضغط كمية معينة من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من ضغطه فى صفر سلزيوس لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره درجة واحدة . وهذا هو قانون الضغط.

## الصفر المطلق ( صفر كلفن ):

باستخدام الجهاز المبين بشكل (٥ – ٧) لقياس حجم الهواء المحبوس في درجات حرارة مختلفة.

يمكننا رسم علاقة بيانية بين الحجم ممثلًا على المحور الرأسى ودرجة الحرارة مقاسة على تدريج سلزيوس ممثلة على المحور الأفقى، نحصل على خط مستقيم كما فى الشكل (٥ – ٩) نمد هذا الخط المستقيم على استقامته نجد أنه يقطع محور درجات الحرارة عند( -273ºC)

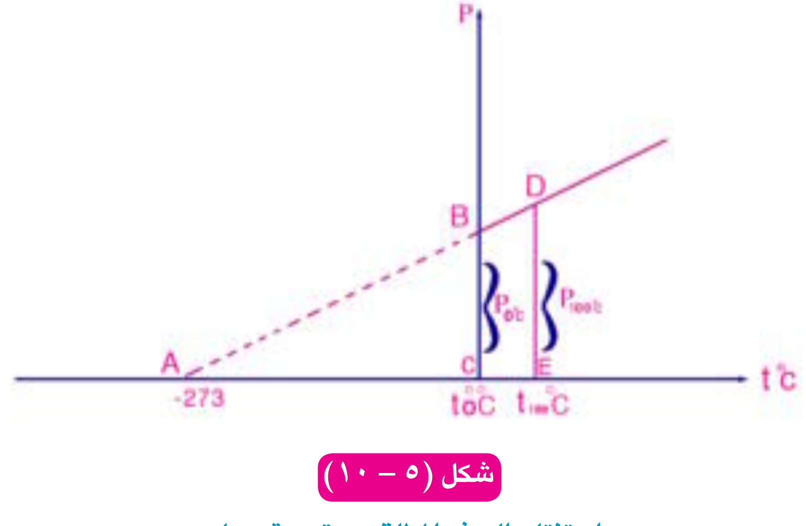



شكل (٥ – ٩)

استنتاج الصفر كلفن من قانون شارل

كما يمكن الاستعانة بالنتائج التى حصلنا عليها فى تجربة جهاز جولى وتمثيل هذه النتائج بيانيًا ، حيث تمثل الضغط على المحور الرأسى وتمثل درجة الحرارة مقاسة على تدريج سلزيوس على المحور الأفقى ، عندئذ يتم الحصول على خط مستقيم كما فى الشكل ( ٥ – ١٠ )

وعند مد هذا الخط المستقيم على استقامته يلاحظ أنه يقطع محور درجة الحرارة هو الآخر (−273°C)




شكل (٥ – ١٠)

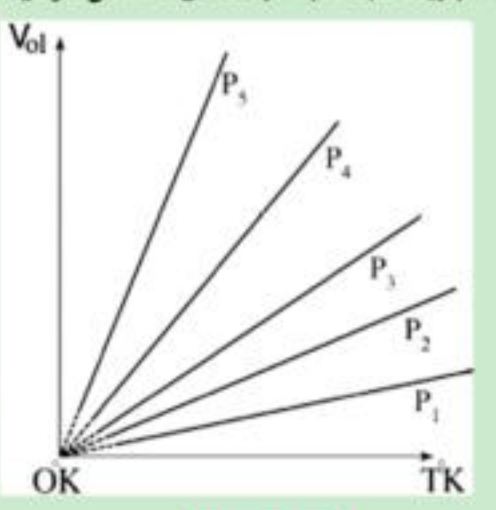
استنتاج الصفر المطلق من تجربة جولى

من الشكلين ( ٥– ٩) و (٥– ١٠) تكون أقل درجة حرارة يمكن الوصول إليها نظريًا هى -273°C هذه الدرجة تقابل ما يسمى الصفر المطلق أو صفر كلڤن وهى درجة الحرارة التى ينعدم عندها حجم وضغط الغاز المثالى ، ودرجة الحرارة على مقياس كلڤن قيمة موجبة دائمًا بينما درجة سلزيوس °C تتدرج بين الموجب والسالب.

**معلومة إثرائية**

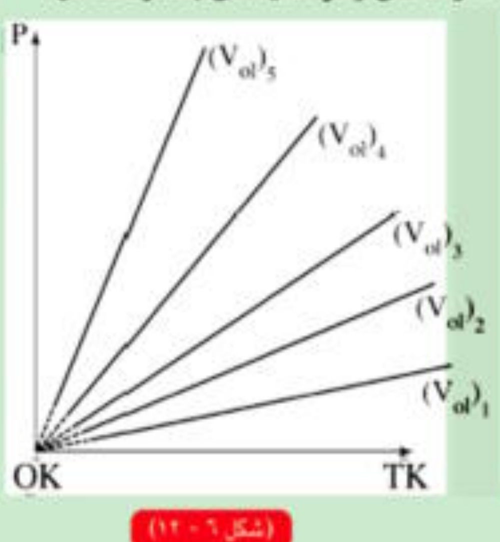
## الصفر المطلق

يمكن إعادة رسم شكلى (٥ - ٩ ، ٥ - ١٠) بحيث يكون المحور الأفقى هو درجة الحرارة المطلقة. فيكون لدينا شكل (٥ - ١١) و شكل (٥ - ١٢). يلاحظ انه عند درجة الصفر كلفن فإن الحجم $V_{ol} = 0$ والضغط $P = 0$، ولكن فى الواقع فإنه مع التبريد الشديد لا تظل المادة بحالتها الغازية، بل تتحول إلى سائل وأحيانا صلب. ومن ثم لا تخضع لقوانين الغازات. ولذلك فإن تعريف الغاز المثالى هو الغاز الذى يتلاشى حجمه وضغطه عند درجة الصفر المطلق. ويلاحظ أننا أهملنا القوى بين الجزيئات وحجم تلك الجزيئات بالنسبة للإناء فى استنتاج قوانين الغاز المثالى وهو ما يسمى بالغاز الكامل.




(شكل ٦ - ١١)

علاقة الحجم بدرجة الحرارة المطلقة عند ضغط ثابت




(شكل ٦ - ١٢)

علاقة الضغط بدرجة الحرارة المطلقة عندحجم ثابت

ولإيجاد العلاقة بين تدريج سلزيوس وتدريج كلفن نأخذ فى الاعتبار ما يلى:

$(-273^\circ C)$ تقابل $0^\circ K$

$0^\circ C$ يقابل $273^\circ K$

$100^\circ C$ تقابل $373^\circ K$

اى ان:

$$T(^\circ K) = 273 + t(^\circ C) \qquad (5\text{-}5)$$

## صور أخرى لقانونى شارل وجولى (الضغط):

١- يمكن الاستعانة بالشكل (٥ - ٩) فى الحصول على صيغة أخرى لقانون شارل. من تشابه المثلثين ABC ، ADE حيث :

$$BC = (V_{ol})_1$$

$$DE = (V_{ol})_2$$

$$AC = T_1$$

$$AE = T_2$$

$$V_{ol} \propto T$$

$$\frac{V_{ol}}{T} = const$$

$$\therefore \frac{(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{(V_{ol})_2}{T_2} \qquad (5\text{-}6)$$

وبذلك يكون

عند ثبوت الضغط يتناسب حجم كمية معينة من غاز تناسبًا طرديًا مع درجة حرارته على تدريج كلفن. وهذه صيغة أخرى لقانون شارل.

٢- وبالاستعانة بالشكل (٥ - ١٠) وبنفس طريقة تشابه المثلثين يمكن الحصول على العلاقة:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \qquad (5\text{-}7)$$

أى أن

$$\frac{P}{T} = const$$

وبذلك يكون:

$$P \propto T$$

عند ثبوت الحجم يتناسب ضغط كمية معينة من غاز تناسبًا طرديًا مع درجة حرارته على تدريج كلفن. وهذه صيغة أخرى لقانون الضغط.

## القانون العام للغازات:

ذكرنا فيما سبق أن سلوك غاز ما يمكن وصفه بمتغيرات ثلاثة هى الحجم والضغط ودرجة الحرارة، والعلاقة التى تربط بين المتغيرات الثلاثة هى القانون العام للغازات.

ويمكن استنتاج القانون العام للغازات كما يلى:

من قانون بويل $V_{ol} \propto \frac{1}{P}$ عند ثبوت درجة الحرارة

من قانون شارل $V_{ol} \propto T$ عند ثبوت الضغط

من ذلك نتبين أن: $V_{ol} \propto \frac{T}{P}$ عند ثبوت درجة الحرارة

ومن هذه العلاقة: $V_{ol} = const \times \frac{T}{P}$

أى أن: $\therefore \frac{P\,V_{ol}}{P} = Const$

$$\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2} \qquad (5\text{-}8)$$

وهذا هو القانون العام للغازات

## أمثلة:

١- إذا كان حجم غاز فى درجة صفر سلزيوس $450\ cm^3$ فما حجمه فى $91°C$ بفرض أن ضغطه يظل ثابتًا؟

**الحل:**

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{450}{(V_{ol})_2} = \frac{273}{273+91}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{450 \times 364}{273} = 600\ cm^3$$

**٢- سخن نصف لتر من الهيدروجين من 10°C إلى 293°C فكم يكون حجمه بفرض أن ضغطه ثابت؟**

**الحل:**

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{500}{(V_{ol})_2} = \frac{273 + 10}{273 + 293}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{500 \times 566}{283} = 1000\ cm^3 = 1\ liter$$

**٣- إذا كان ضغط غاز 26°C هو 59.8 cmHg فما ضغطه عند 130°C مع العلم بأنه ثابت الحجم؟**

**الحل:**

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{59.8}{P_2} = \frac{273 + 26}{273 + 130}$$

$$P_2 = \frac{59.8 \times 403}{299} = 80.6\ cmHg$$

**٤- مقدار من غاز يشغل فى درجة 27°C وتحت ضغط 60 cmHg حجما قدره 380 $cm^3$ فكم يكون حجمه عند معدل الضغط ودرجة الحرارة (S.T.P)؟**

**الحل:**

(S.T.P) **معناه أنه تحت ضغط** 76 cmHg **وفى درجة حرارة** 0 C° **أو** 273 K

$$\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2}$$

$$\frac{60\ X\ 380}{300} = \frac{76 \times (V_{ol})_2}{273}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{60\ X\ 380\ X\ 273}{76\ X\ 300} = 273\ cm^3$$

٥- مقدار من غاز النيتروجين حجمه 15 liters عندما يكون الضغط الواقع عليه 12 cmHg ومقدار من غاز الأكسجين حجمه 10 liters عندما يكون الضغط الواقع عليه 50 cmHg وضعًا فى إناء مقفل سعته 5 liters، فإذا كانت درجة حرارة الغازين ثابتة أثناء خلطهما فأوجد ضغط مزيجهما.

**الحل:**

كل من الغازين يشغل بهذا الخلط سعة الإناء أى 5 liters

لإيجاد ضغط غاز النيتروجين بعد الخلط يطبق القانون:

$$P\,V_{ol} = P_1\,(V_{ol})_1$$

$$\therefore 12 \times 15 = P_1 \times 5$$

$$P_1 = 36\ \text{cmHg}$$

لإيجاد ضغط غاز الأكسجين نطبق العلاقة

$$PV_{ol} = P_2\,(V_{ol})_2$$

$$P_2 = \frac{10 \times 50}{5} = 100\ \text{cm Hg}$$

وبما أن ضغط مخلوط غازين يساوى مجموع الضغطين الجزئيين لهما فإن ضغط مخلوط الغازين

$$P = P_1 + P_2 = 36 + 100 = 136\ \text{cm Hg}$$

## تلخيص:

(١) التعاريف والمفاهيم الأساسية:

- جزيئات الغاز فى حالة حركة عشوائية مستمرة تتصادم مع بعضها البعض كما تتصادم مع جدران الإناء الذى يحتويها.
- توجد مسافات فاصلة بين جزئيات الغاز تعرف بالمسافات الجزيئية.
- قانون بويل: عند ثبوت درجة الحرارة يتناسب حجم كمية معينة من غاز تناسبًا عكسيًا مع ضغطها.
- قانون شارل: عند ثبوت الضغط يزداد حجم مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمه الأصلى عند $0^oC$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقدارها درجة واحدة. أو يتناسب حجم كمية ثابتة من الغاز مع درجة الحرارة المطلقة تحت حجم ثابت.
- قانون الضغط (جولى): عند ثبوت الحجم يزداد ضغط مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من ضغطه الأصلى عند $0^oC$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره درجة واحدة. أو يتناسب ضغط كمية ثابتة من الغاز مع درجة الحرارة المطلقة تحت حجم ثابت.
- معامل زيادة الضغط بزيادة درجة الحرارة عند ثبوت الحجم = معامل زيادة الحجم بزيادة درجة الحرارة عند ثبوت الضغط = $\frac{1}{273}$ لكل الغازات
- درجة الحرارة المطلقة (على مقياس كلڤن) = درجة الحرارة على تدريج سلزيوس مضافًا إليها 273

٢- القوانين الهامة:

إذا كان $V_{01}$ حجم كمية معينة من غاز ، P ضغطها T درجة حرارتها على مقياس كلڤن فإن:

- قانون بويل $PV_{01} = const$ عند ثبوت درجة الحرارة.
- قانون شارل $\frac{V_{01}}{T} = const$ عند ثبوت الضغط
- قانون الضغوط $\frac{P}{T} = const$ عند ثبوت الحجم.
- القانون العام للغازات

أي أن $\frac{P_2(V_{01})_2}{T_2} = \frac{P_1(V_{01})_1}{T_1} = const$

- معامل ازدياد الحجم بازدياد درجة الحرارة عند ثبوت الضغط.

$$\alpha_V = \frac{V_{t^\circ C} - V_{0^\circ C}}{V_{0^\circ C} \times \Delta t_{^\circ C}} = \frac{1}{273}$$ لكل درجة

- معامل ازدياد الضغط بازدياد درجة الحرارة عند ثبوت الحجم.

$$\beta_P = \frac{P_{t^\circ C} - P_{0^\circ C}}{P_{0^\circ C} \times \Delta t^\circ_C} = \frac{1}{273}$$ لكل درجة

## أسئلة وتمارين:

### أولًا: أكمل:

أي العبارات تكمل الجمل التالية لها:

(أ) يزيد بمقدار صغير. (ب) يقل بمقدار صغير. (جـ) يظل ثابتًا.

(د) يتضاعف. (هـ) ينقص إلى النصف.

١- إذا تضاعف ضغط كمية معينة من غاز عندما تكون درجة الحرارة ثابتة فإن الحجم ..................

٢- إذا انتقل بارومتر من مستوى سطح البحر إلى أعلى جبل فإن ارتفاع الزئبق في البارومتر..................

٣- إذا كان ضغط الغاز ثابتًا وقلت درجة حرارته على تدريج كلفن إلى النصف فإن حجمه..................

### ثانيًا : تخير الإجابة الصحيحة

١- زيادة درجة حرارة إطار السيارة يؤدى إلى:

١) زيادة ضغط الهواء داخل الإطار

٢) زيادة حجم الهواء داخل الإطار

٣) نقص مساحة سطح الجزء من العجلة الملاصقة للطريق

اختر الحرف المناسب فيما يلى للإجابة

(أ) (١، ٢، ٣) صحيحة (ب) (١،٢) صحيحة (جـ) (١، ٣) صحيحة

(د) (٣) فقط صحيحة (هـ) (١) فقط صحيحة

٢- درجة حرارة جسم الإنسان على مقياس كلفن لدرجات الحرارة تساوى تقريبًا.

(أ) 0 K (ب) 37 K (جـ) 100 K (د) 373 K (هـ) 310 K

٣- يتناسب حجم كمية محدودة من غاز ما:

(أ) عكسيًا مع درجة حرارته عند ثبوت ضغطه

(ب) عكسيًا مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته

(جـ) طرديًا مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته

(د) طرديًا مع درجة حرارته عند تغير الضغط

(هـ) عكسيًا مع ضغطه عند تغير درجة حرارته

٤- ضغط الغاز عند 10°C يتضاعف إذا تم تسخين الغاز تحت حجم ثابت إلى:

(أ) 20°C (ب) 80°C (جـ) 160°C (د) 293°C (هـ) 410°C

٥- إذا انضغط غاز ببطء إلى نصف حجمه الأصلي فإن:

(أ) درجة حرارة الغاز ستتضاعف. (ب) درجة حرارة الغاز ستنقص إلى نصف قيمتها.

(جـ) ضغط الغاز سيصل إلى النصف. (د) سرعة الجزيئات تتضاعف.

(هـ) ضغط الغاز سيتضاعف.

## ثالثًا: أسئلة المقال:

١- كيف تبين بالتجربة أن معامل التمدد الحجمي لجميع الغازات واحد عند ثبوت الضغط؟

٢- صف طريقة لإيجاد معامل ضغط الغاز عند ثبوت حجمه وإنه ثابت لجميع الغازات.

٣- كيف تحقق قانون بويل عمليًا؟

٤- كيف تبين بالتجربة أن ضغط الغاز يزداد بارتفاع درجة الحرارة عند ثبوت الحجم؟

٥- كيف تعين صفر كلفن؟

٦- اشرح معنى صفر كلفن ودرجة الحرارة على تدريج كلفن.

٧- استنبط القانون العام للغازات

## رابعًا: تمارين

١- لتر غاز في $10^oC$ رفعت درجة حرارته وهو ثابت الضغط إلى $293^oC$ فأوجد حجمه.

(2 Liter)

٢- إناء مقفل به هواء في درجة $0^oC$ برد إلى ($-91^oC$) فصار الضغط به 40cmHg فكم يكون ضغط الهواء عند $0^oC$

(60cm Hg)

٣- كمية من الأكسجين تشغل في $91\ ^oC$ وتحت ضغط 84cmHg $760\ cm^3$ فكم يكون حجمها في درجة $0^oC$ وتحت ضغط 76 cm Hg ( في معدل الضغط ودرجة الحرارة S.T.P )

$630\ cm^3$

٤- دورق به هواء سخن من $15\ ^oC$ إلى $87\ ^oC$ فكم نسبة حجم ما خرج منه من الهواء إلى ما كان موجود به؟

(25%)

٥- إطار سيارة به هواء ضغطه 1.5Atm في يوم كانت درجة حرارته ($-3^oC$) احسب ضغط الهواء في الإطار عندما ترتفع درجة الحرارة إلى $51^oC$ بفرض ثبوت الحجم

(1.8 Atm)

٦- فقاعة من الهواء على عمق 10.13m تحت سطح ماء عذب حجمها $28cm^3$ احسب حجمها قبل أن تصل إلى سطح الماء مباشرة بفرض أن درجة حرارة الماء عند العمق المشار إليه هي $7^oC$ ودرجة الحرارة عند السطح $27^oC$ (اعتبر عجلة الجاذبية الأرضية $10ms^{-2}$ والضغط الجوى $1.013x10^5N/m^2$ وكثافة الماء $1000kg/m^3$).

$(60cm^3)$